

## **DISEÑO DE UNA PLATAFORMA MÓVIL DE USO PEDAGÓGICO EMPLEANDO UN DISPOSITIVO GENÉRICO Y SOFTWARE DE SIMULACIÓN**

*VÁZQUEZ<sup>1</sup> R\*, ROBLEDO<sup>1</sup> ANLBERTO<sup>1</sup>, TOLEDO PABLO<sup>1</sup>, MASON<sup>1</sup>  
LEONCIO, MARIGUETTI JORGE<sup>1</sup>, CANAL<sup>2</sup> LUIS.*

\*GUDA-Grupo Universitario de Automatización<sup>1</sup>  
Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Resistencia  
French 414. 3500 Resistencia-Chaco. República Argentina  
Tel: +54 362 4432928. / Fax: +54 362 4432683/  
e-mail: ray\_vazquez\_2005@hotmail.com

UTN Facultad Regional Cordoba<sup>2</sup>.  
Maestro M. Lopez esq, Cruz Roja Argentina, Ciudad Universitaria, 5016  
Córdoba, Argentina.  
e-mail: garaguas@gmail.com

## **DISEÑO DE UNA PLATAFORMA MÓVIL DE USO PEDAGÓGICO EMPLEANDO UN DISPOSITIVO GENÉRICO Y SOFTWARE DE SIMULACIÓN**

**Resumen:** Se desarrolla de un procedimiento para controlar un modelo de respuesta no lineal denominado péndulo invertido con la finalidad de construir una plataforma móvil de uso pedagógico. El desarrollo se implementa en el aula de clase para estudiar técnicas de control automático de proceso, programación y electrónica elemental.

El procedimiento permite obtener una respuesta de estabilidad relativa entre ciertos parámetro de perturbación externa a la plataforma móvil. El dispositivo genérico empleado en el desarrollo facilita las tareas de control y automatización debido a la utilización de un microcontrolador del tipo DSP.

Las herramientas de simulación y dispositivos genéricos permiten al alumno mejorar el aprendizaje en áreas de la ingeniería y proporciona una herramienta pedagógica innovadora al profesor.

La plataforma móvil de uso pedagógico es de bajo presupuesto, flexible, adaptable permitiendo actualizaciones permanentes.

Los alumnos no requieren altos conocimiento de programación y electrónica, debido a que los dispositivos genéricos tienen un hardware y un software de código abierto que facilita su manejo. Los diferentes elementos mecánicos, eléctricos y electrónicos que son utilizados en la construcción de la plataforma pedagógica móvil se obtuvieron de materiales reciclados de un laboratorio de ingeniería, por ese motivo el desarrollo es de bajo costo y fácil implementación.

**Palabras Claves:** Plataforma móvil, control automático, dispositivos genéricos.

### **INTRODUCCIÓN**

La teoría del control automático y la tecnología de los robots, permite combinar diversas disciplinas como por ejemplo mecánica, informática y la electrónica con la finalidad de diseñar y construir aplicaciones de robots. En este sentido, se desarrollará un procedimiento para estabilizar en forma horizontal una plataforma móvil de dos ruedas empleando control por ancho de pulso o PWM según lo plantea Palacios et al. [1].

## CONCEPTOS FUNDAMENTALES

La teoría del control automático estudia la estabilidad de los sistemas y proporciona una metodología que permite definir criterios de estabilidad.

El esquema de la figura 1 representa un modelo simplificado para controlar la velocidad angular  $\omega$  en un motor de corriente continua. El sensor se encarga de obtener  $\omega$  permitiendo al sumador realizar la suma  $r-s$ . En el caso de obtener el valor cero se obtiene un frenado en el eje. Cuando la diferencia  $r-s$  es distinta de cero y el valor  $t$  aumenta una cantidad  $k$ , existe una amplificación  $u$  al motor hasta conseguir el equilibrio del sistema según lo demuestra Ogata [2].

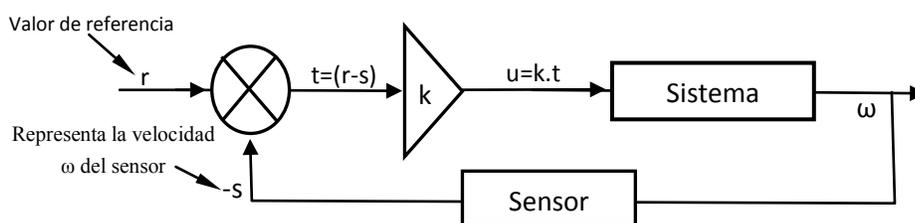


Figura 1.- Diagrama de control automático

El modelo de retroalimentación negativa se implementa en la plataforma móvil para automatizar el giro de las dos ruedas. Un hardware como se observa en la figura 2 se implementa para medir la inclinación de la plataforma móvil en el eje horizontal y controlar la velocidad de los motores de corriente continua. Se lo denomina dispositivos genéricos de arquitectura abierta de uso general. Los mismos, son ampliamente utilizados para resolver situaciones de control dentro de la ingeniería. Son de bajo costo y se requiere reducido conocimiento de programación y electrónica.

El profesor utiliza los dispositivos genéricos como herramienta pedagógica para mejorar la calidad de enseñanza y facilitar el proceso de aprendizaje en temas tecnológicos debido a su flexibilidad y alcance. Los dispositivos genéricos son herramientas indispensables en la mecatrónica y la robótica educativa como lo muestra Vásquez et al.[3].

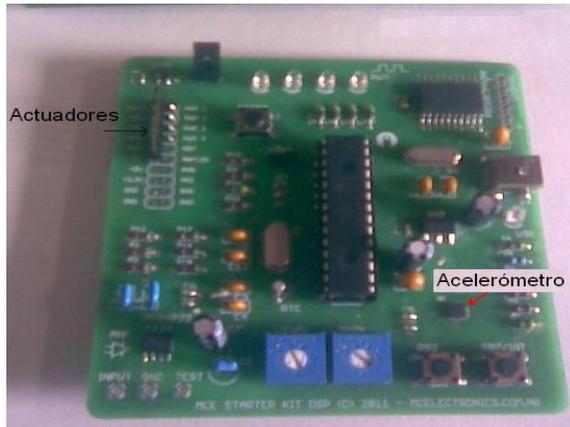
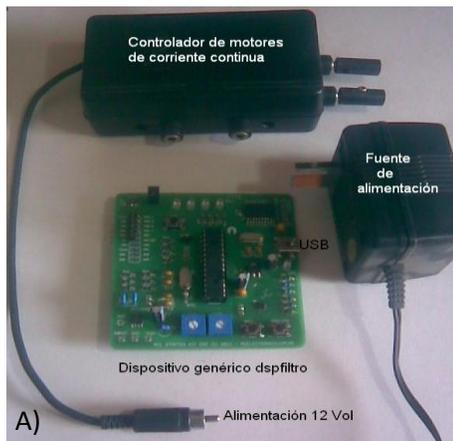


Figura 2. Dispositivo genérico dspfiltro.

La herramienta pedagógica denominado dspfiltro tiene diferentes sensores incorporados a la placa, en especial se destaca el acelerómetro de tres ejes (ver figura 2). Posee una entrada USB que permite transferir información analógica digital al exterior. También se puede visualizar cuatro terminales que se conectan a un integrado encargado de controlar la velocidad y sentido de giro de dos motores de corriente continua. En la figura 3 se visualiza los dispositivos que se incorporarán a la plataforma móvil de uso pedagógico.



Webcam WB-C19 2.4Ghz Wireless



Figura 3. A) Controlador de motor, fuente de alimentación y dispositivo genérico.  
B) Webcam wireless.

## IMPLEMENTACIÓN

Los dispositivos mencionados anteriormente se articulan para integrar la plataforma móvil mostrada en la figura 4, representando el modelo simplificado denominado péndulo invertido.



Figura 4. Plataforma móvil modelo del péndulo invertido

El modelo mecánico denominado péndulo invertido sobre dos ruedas tiene un comportamiento similar al péndulo sobre un carro. La dinámica del péndulo y de las ruedas se analiza separadamente y las ecuaciones de movimientos tienen un grado de complejidad debido a las diferentes variables que se deben contemplar según lo analiza en detalle Saravia et al. [4]. En la figura 5, se visualiza el diagrama de cuerpo libre de las ruedas y el del chasis de la plataforma móvil.

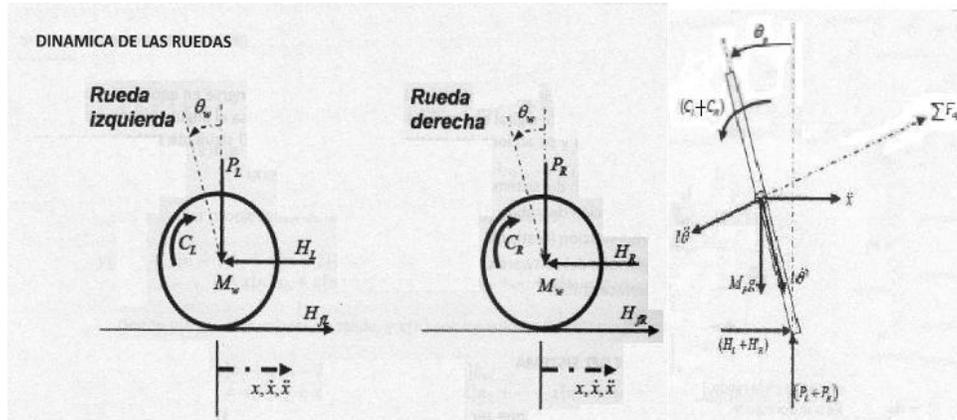


Figura 5. Diagrama del cuerpo libre de las ruedas y el chasis [4].

## HIPÓTESIS DE TRABAJO

Es posible implementar un algoritmo para equilibrar en forma horizontal una plataforma móvil del tipo péndulo invertido sometida a perturbaciones de fuerzas externas articulando un software de control, un dispositivo genérico y un controlador de motor de corriente continua del tipo PWM.

## METODOLOGÍA

Se inclina en forma manual la plataforma móvil en el eje Y para obtener valores de aceleración. En la figura 6 se observa las aceleraciones estáticas proyectadas según la inclinación del sensor respecto al eje de referencia Y-X. Se utiliza el programa Hyper Terminal de Windows como lo detalla Angulo et al. [5].

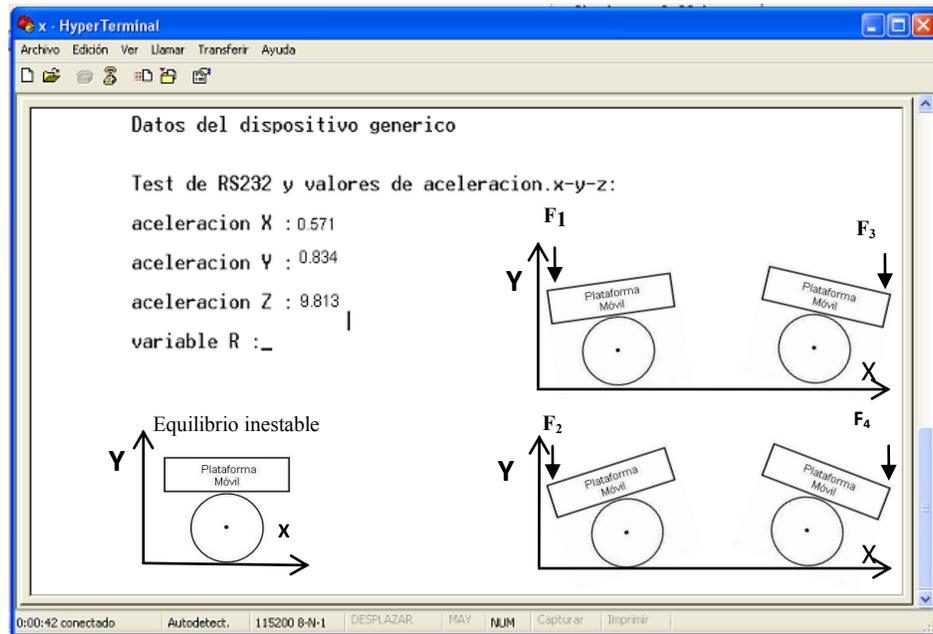


Figura 6. Hyper Terminal visualiza la aceleración según la inclinación de la plataforma móvil.

Se tabulan los valores de aceleración para establecer rangos de comparación. En esta etapa, se obtienen una serie de aceleraciones según las inclinaciones de la plataforma móvil. Es decir, cada inclinación angular le corresponde un valor de aceleración según lo detallada Tuck [6]. Luego de establecer los rangos de funcionamiento se debe asociar la aceleración obtenida (es decir la inclinación) con la velocidad y sentido de giro en cada motor como se observa en el algoritmo de la figura 7.

El software se encarga de recibir información del acelerómetro y transmitir vía USB aplicando técnicas de programación estructurada en lenguaje C como lo desarrolla Santos et al.[7].

```

g_x=(float)(OUT_X*9.81/1024); //Transforma el valor leído en aceleracion m/s2
suma2=suma2+g_x;           // luego hace un promedio de las 15 lecturas
if(conta==15)
{
g_x=(suma2/conta);
giro=g_x;                  //Variable a comparar para determinar el giro del motor
ftoa(g_x,bufferf,3,'f');  //Se transmite los valores por el hyperterminal
TERM_CURSOR_X_Y(6,25);
printf("%s",bufferf);
suma2=0.0;
}
//Los valores de comparación como por ejemplo: -0.1, 0.0, 0.45 y 0.8
//se obtuvieron inclinando la plataforma móvil en diferentes ángulos.
if(giro<-0.1){derecha=1;} //La plataforma móvil se inclino hacia la derecha
if((giro>0.0)&&(giro<0.45)){derecha=2;} //La plataforma esta en equilibrio inestable
//y los motores no se mueven.
if(giro>0.8){derecha=0;} //La plataforma gira a la izquierda

```

Figura 7. Algoritmo encargado de controlar el sentido de giro de los motores.

## PROCEDIMIENTO

Se debe configurar un software para adquirir y visualizar los datos del acelerómetro en los 3 ejes como se muestra en la figura 6 y figura 7.

Se emplea un microcontrolador denominado dsPIC 33fj128gp configurado en el simulador MPLAB 8.84 como lo detalla Angulo et al.[8].

Luego de analizar los diferentes valores de inclinación versus aceleración se implementa un segundo algoritmo para estimular los motores de corriente continua aplicando la técnica de control de regulación por ancho de pulso o PWM como se visualiza en la figura 8.

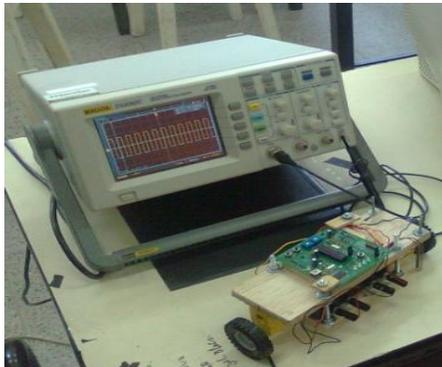


Figura 8. Generación de pulsos digitales a la salida de los pines del dsPIC 33fj128gp.

El software desarrollado debe clasificar un rango de aceleraciones donde la plataforma móvil de uso pedagógico permanezca en posición horizontal cuando sea sometida a perturbaciones de fuerzas externas. Se establece una frecuencia de excitación en el controlador del motor de corriente continua para ejercer una excitación adecuada que permita a la plataforma móvil volver al estado de equilibrio inestable después de una perturbación externa. El algoritmo que realiza la función de comunicación vía USB y control PWM se visualiza en la figura 9.

```

void __attribute__((interrupt)) _ULRXInterrupt(void)
{
    //Comunicación al Hiperterminal
    while (!DataRdyUART1()) { //Se contempla la posibilidad de Configuración
        //del PWM desde el exterior.
        if (ReadUART1() == 'a') { PR2=PR2+20; }
        if (ReadUART1() == 'b') { PR2=PR2-20; }
        if (ReadUART1() == 'c') { derecha=2; }
        if (ReadUART1() == 'q') { T2CONbits.TCKPS = 16; }
        if (ReadUART1() == 'w') { T2CONbits.TCKPS = 4; }
        if (ReadUART1() == 'e') { T2CONbits.TCKPS = 1; }
        if (ReadUART1() == 'x') { z=1; }
        if (ReadUART1() == 't') { z=0; }
    }
    IFS0bits.ULRXIF=0;
}

void __attribute__((interrupt)) _T2Interrupt( void )
{
    //Rutina del PWM PR2 controla la frecuencia
    if (IFS0bits.T2IF ==1)
    {
        if (derecha==0)
        {
            //Giro a la derecha
            if (detecta==0) { PORTB=0b1010000000000000; }
            if (z==0) { if (detecta==1) { PORTB=0b0000000000000000; } }
        }
        if (derecha==1)
        {
            //Giro a la izquierda
            if (detecta==0) { PORTB=0b0101000000000000; }
            if (z==0) { if (detecta==1) { PORTB=0b0000000000000000; } }
        }
        if (derecha==2)
        {
            //Motor apagado
            PORTB=0b1111000000000000;
        }
    }
    detecta++;
    if (detecta>=2) { detecta=0; }
    IFS0bits.T2IF =0;
}
    
```

Figura 9. Software encargado de la comunicación y el control PWM.

Para evitar resbalamiento de las ruedas se incorporo una superficie rugosa y un amortiguador para mejorar la respuesta inercial de la plataforma móvil, como se observa en la figura 10.

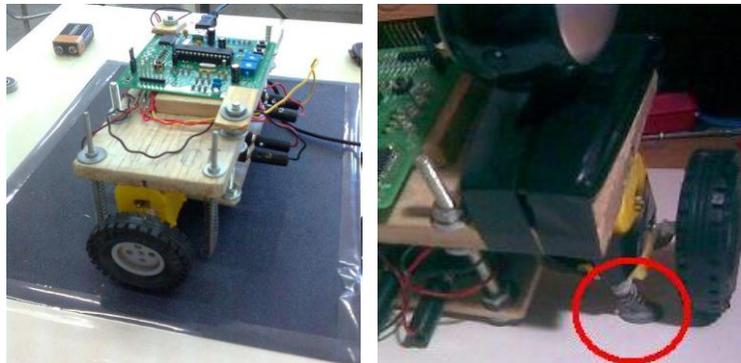


Figura 10. Superficie rugosa y un amortiguador.

## CONSIDERACIONES FINALES

Para mejorar la respuesta inercial de la plataforma se colocan dos resortes que tienen como misión mejorar la respuesta transitoria del dispositivo móvil sometida a perturbaciones de fuerzas externas. En la figura 11 se visualiza la plataforma conectado al controlador PWM.

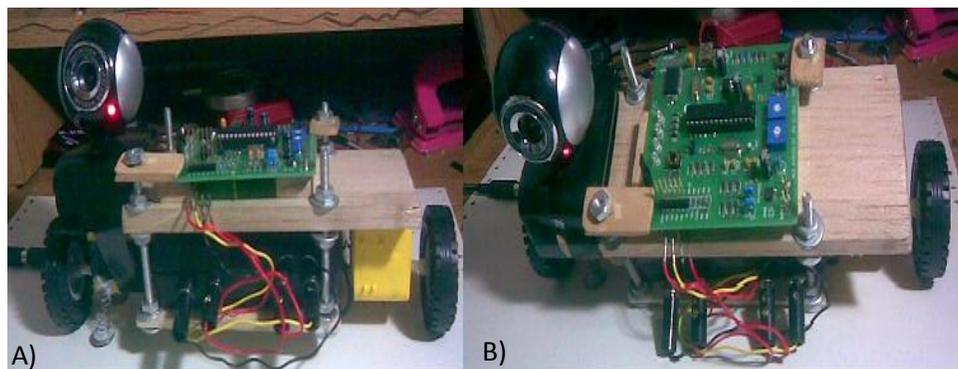


Figura 11. A) El controlador está conectado. B) El controlador está desconectado.

La cámara webcam wireless asociado a un paquete de visión artificial y un dispositivo de control remoto permite realizar operaciones de navegaciones autónomas o semiautomáticas por parte del operario. En la figura 12 los alumno utilizan la plataforma pedagógica para incursionar temas relacionado a la ingenierías tales como: teoría de control automático, electrónica y dispositivos genéricos, introducción a programación en C básicos y comunicación entre periféricos todos en un solo ejercicio.

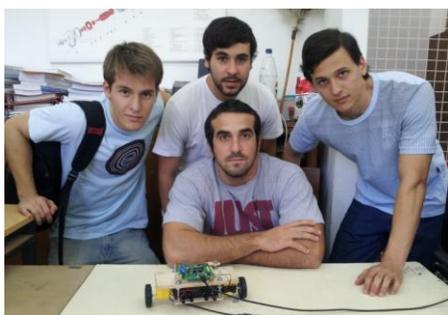


Figura 12. Alumnos de la carrera Ingeniería Electromecánica realizan prácticas de laboratorio con el dispositivo pedagógico.

## RESULTADOS

Mediante un procedimiento se desarrolló un controlador para estabilizar un modelo no lineal denominado péndulo invertido mediante la implementación de un software encargado de adquirir variables de aceleración y clasificar diferentes inclinaciones de la plataforma sometida a perturbaciones externas. Luego se vinculó la inclinación con el control de la velocidad y sentido de giro de los motores para estabilizar horizontalmente en forma automática el modelo pedagógico.

La plataforma móvil fue construida con bajo presupuesto y los materiales se obtuvieron de dispositivos en desuso en el laboratorio de ingeniería.

El software es de uso libre al igual que el simulador, los algoritmos son flexibles y adaptables permitiendo mejoras permanentes.

El procedimiento no contempla cálculos mecánicos de la plataforma ni eléctricos de los motores, solo se obtienen los valores de las aceleraciones para accionar la excitación por PWM a los motores.

## CONCLUSIONES

El control de modelos no líneas como por ejemplo el péndulo invertido posee una serie de dificultades en su desarrollo como lo demuestra Saravia et al. [4]. Su implementación en el aula de clase se hace difícil debido a las variables que intervienen en el fenómeno de control. Utilizando el procedimiento desarrollado es posible obtener una respuesta de estabilidad relativa entre ciertos parámetro de perturbación externa a la plataforma móvil.

Los dispositivos genéricos facilitan enormemente las tareas de control debido a que los algoritmos de automatización en los microcontroladores son sencillos de implementar.

La utilización de las herramientas de simulación facilita las tareas de programación al alumno. La información en el desarrollo de los algoritmos es de código de fuente abierto, permitiendo a un programador poco experimentado desarrollar la plataforma pedagógica.

La plataforma móvil es de bajo presupuesto, flexible y adaptable permitiendo innovaciones permanentes.

Los alumnos no requieren altos conocimientos de control automático y electrónica para mejorar la respuesta del dispositivo al igual que el algoritmo de control.

Los diferentes elementos mecánicos, eléctricos y electrónicos que forma la plataforma pedagógica móvil fueron un reciclado de dispositivos en desuso pertenecientes al laboratorio de ingeniería, por ese motivo su implementación es muy sencilla.

## REFERENCIAS

- [1] Palacios E., Remiro F., López L.,:  
Microcontroladores PIC PIC16F84 Desarrollo de proyectos. Segunda Edición 2006.  
Editorial Alfaomega Ra-Ma. Cap 29. p.465. México. México.
- [2] Ogata K., :  
Ingeniería de Control Moderna. Cuarta Edición 2002. Editorial Pearson Prentice Hall.  
Cap 5. p.224. Madrid. España.
- [3] Vazquez R., Toledo P., Cóceres M., Mason L., Canali L (2011). Diseño y Construcción  
de una Herramienta Pedagógica utilizando Dispositivos Genéricos, Simulador y un  
Software de Control Automático. Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional –  
edUTecNe.
- [4] Saravia B. Coria J. Fiadino G. Aroldi A. MPLAB X y Técnicas de Programación con  
Librerías de Microchip. Editorial Mcelectronics 2011. Cap 6. p.229. Argentina  
Buenos Aires.
- [5] Angulo M. Ruiz A. Martínez I. Parra I. dsPIC Diseño práctico de Aplicaciones.  
Editorial Mc Graw Hill 2006. Anexo Laboratorio 4. p.355. Madrid España.
- [6] Tuck K.,:  
Applications Engineer AN4068. Embedded Orientation Detection Using the  
MMA8451, 2, 3Q. Rev 1, 09/2010 p.5.
- [7] Santos M., Patiño I., Carrasco R., :  
Fundamento de programación. Primera Edición 2006. Cap 5. p.97. Editorial  
Alfaomega Rama. México. México.
- [8] Angulo J., Zapirain G., Martínez I., Sáez J:  
Microcontroladores Avanzados dsPIC. Controlador Digital de Señales. Arquitectura,  
programación y aplicaciones. Primera Edición 2005. Editorial Thomson. Anexo B.  
p.739.