

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE INGENIERÍA

SIMULACIÓN DE UN CONTROL HÍBRIDO PARA EL PÉNDULO INVERTIDO

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
ELECTRÓNICA Y CONTROL**

JORGE NICOLAY CARRIÓN MORALES

DIRECTOR: ING. MARCO BARRAGÁN BEDOYA

Quito, Junio del 2001

DECLARACIÓN

Yo, Jorge Nicolay Carrión Morales, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

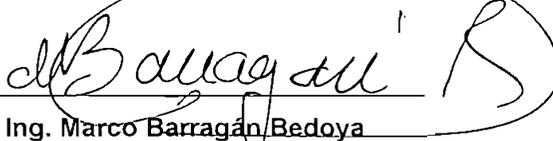
A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

A handwritten signature in black ink, consisting of several loops and flourishes, positioned above a horizontal line.

Jorge Nicolay Carrión Morales

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Jorge Nicolay Carrión Morales, bajo mi supervisión.



Ing. Marco Barragán Bedoya

AGRADECIMIENTO

Mi sincero agradecimiento al Ingeniero Marco Barragán, por su acertada dirección, y a cada una de las personas que de una u otra forma colaboraron desinteresadamente en la realización de este proyecto.

DEDICATORIA

A mis queridos padres y hermanos, por el apoyo incondicional que supieron brindarme para poder culminar con éxito mi carrera universitaria.

CONTENIDO

<i>Capítulo I</i>	1
ANÁLISIS Y DESARROLLO MATEMÁTICO	1
1.1 CONCEPTOS Y DEFINICIONES TEÓRICAS	1
1.1.1 <i>SISTEMAS LINEALES</i>	1
1.1.2 <i>SISTEMAS NO LINEALES</i>	3
1.1.3 <i>ANÁLISIS DE SISTEMAS NO LINEALES</i>	4
1.1.3.1 <i>Retrato de Fase en el Espacio de Estado</i>	4
1.1.3.2 <i>Puntos De Equilibrio Para Sistemas No Lineales</i>	5
1.1.3.3 <i>Ciclos Límites En Un Sistema No Lineal</i>	7
1.1.3.4 <i>Conceptos De Estabilidad Según Lyapunov</i>	9
1.1.3.4.1 <i>Primer Método de Lyapunov</i>	9
1.1.3.4.1 <i>Segundo Método o Método Directo de Lyapunov</i>	11
1.1.4 <i>DISEÑO DE SISTEMAS DE CONTROL NO LINEALES</i>	12
1.1.4.1 <i>El Problema De Regulación</i>	13
1.1.4.2 <i>El Problema de Seguimiento</i>	13
1.1.4.3 <i>Especificaciones para el diseño de un control</i>	14
1.1.4.4 <i>Procedimiento de Análisis y Diseño Para Sistemas de Control No Lineales</i>	14
1.2 DESARROLLO MATEMÁTICO DEL SISTEMA	15
1.2.1 <i>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y CONSIDERACIONES</i>	16
1.2.2 <i>ANÁLISIS MATEMÁTICO PARA EL CONTROL DE ENERGÍA</i>	18
1.2.2.1 <i>Control de Energía</i>	24
1.2.3 <i>ANÁLISIS MATEMÁTICO PARA EL REGULADOR DE POSICIÓN</i>	29
1.2.3.1 <i>Linealización del Sistema para el Regulador De Posición</i>	34
1.2.3.2 <i>Regulador de Posición (LQR)</i>	35
1.2.4 <i>CONDICIÓN DE CONMUTACIÓN O DE CAMBIO DEL CONTROL</i>	38

<i>Capítulo II</i>	40
DESARROLLO DEL SOFTWARE	41
2.1 SIMULACIÓN EN MATLAB.....	41
2.2 DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DEL PROGRAMA.	43
2.3 ANÁLISIS DE LOS ARCHIVOS.M UTILIZADOS.	51
2.3.1 DIAGRAMA DE DISTRIBUCIÓN DE LOS ARCHIVOS.M.....	56
2.4 FUNCIONES UTILIZADAS.....	58
 <i>Capítulo III</i>	 65
SIMULACIONES Y RESULTADOS	66
3.1 SIMULACIÓN PARA EL AJUSTE DE LOS CONTROLES IMPLEMENTADOS.....	66
3.1.1 CONTROL DE ENERGÍA.....	66
3.1.2 REGULADOR DE POSICIÓN.....	69
3.2 EJEMPLOS DE SIMULACIÓN Y RESULTADOS.....	72
3.2.1 REGULADOR DE POSICIÓN.....	72
3.2.2 CONTROL DE ENERGÍA.....	83
3.2.3 CONTROL HÍBRIDO.....	100
 <i>Capítulo IV</i>	 115
CONCLUSIONES	116
<i>Bibliografía</i>	120
 <i>Anexos</i>	
MANUAL DE USUARIO	A
ALGORÍTMOS DE SIMULACIÓN PARA EL AJUSTE DE LOS CONTROLES	B
CÓDIGO FUENTE	C

RESUMEN

El presente trabajo consiste en obtener mediante programación en MATLAB una interfaz de usuario muy útil, fácil de usar, y el cual permite analizar y simular el comportamiento y control de un sistema mecánico como lo es el péndulo invertido que consiste de una varilla rígida que gira libremente en forma circular, y está acoplada a un carro que se mueve horizontalmente. La varilla se encuentra al inicio en la posición vertical inferior, y mediante técnicas de control se logra primero poner al péndulo en la posición vertical superior y luego mantenerlo equilibrado en esta posición.

Con esta finalidad, en el primer capítulo se describe detalladamente toda la teoría necesaria para comprender de mejor manera el comportamiento inestable del sistema y su grado de complejidad, así como también todos los conceptos relacionados al control propuesto y el algoritmo de solución. Se realiza además el desarrollo matemático correspondiente al planteamiento del problema y al control del mismo; el cual está hecho en base a un análisis de energías, llegando a las ecuaciones que modelan completamente al sistema y a las ecuaciones que dan solución al mismo.

El uso de un software como herramienta de estudio es muy importante y constituye un elemento indispensable de este trabajo, pues ayuda a una mejor comprensión del comportamiento del sistema y del control del mismo. En el segundo capítulo se enumeran las ventajas que presenta la simulación dinámica de un sistema, las ventajas del uso de MATLAB como herramienta para desarrollar el software que permita simular el comportamiento y control del mismo, una descripción del programa desarrollado, así como sus ventajas y restricciones. También se presentan los diagramas de flujo del programa y la descripción de los archivos que componen el mismo y cómo se relacionan entre sí; además, se agregan las funciones de MATLAB utilizadas y una descripción de las mismas.

Una vez desarrollado el software, en el tercer capítulo se presentan los resultados de la simulación y del control propuesto, en forma gráfica y analítica, describiendo detalladamente el comportamiento del sistema, lo que permite interpretar los resultados del presente trabajo.

Como cuarto capítulo se tiene las conclusiones a las que se ha llegado después de haber analizado y dado solución al problema.

Por último, como anexos al trabajo, se presenta un manual de operación y manejo del programa que servirá como guía para el usuario, y los listados de cada uno de los archivos generados en el programa.

PRESENTACIÓN

El péndulo es probablemente el sistema dinámico más estudiado en la historia de la ciencia. En los cursos de física elemental, el modelo de funcionamiento del péndulo se aproxima a una ecuación lineal simple y se restringe el movimiento del mismo a una región pequeña de trabajo. En el presente proyecto no se hará esta restricción de funcionamiento, sino que se permite que el péndulo gire completamente sobre su eje incluso llegando a dar vueltas completas, con lo cual se pretende complementar el estudio de su comportamiento en todas sus fases.

El sistema mecánico péndulo-carro es un experimento práctico muy utilizado en la enseñanza de las técnicas de control debido a ser inherentemente inestable. Este sistema, que según ya se mencionó, consiste de una varilla rígida acoplada a un carro que se mueve horizontalmente, de manera que pueda girar libremente en el mismo plano del movimiento del carro.

El sistema mecánico tiene dos puntos de equilibrio, uno estable y otro inestable.

El punto de equilibrio estable corresponde a un péndulo colgando verticalmente "hacia abajo" (reposo) y el punto de equilibrio inestable corresponde a un péndulo colgando verticalmente "hacia arriba".

Desde mucho tiempo atrás y en trabajos desarrollados anteriormente, se ha hecho el estudio y el análisis de la fase de regulación de la posición del péndulo

para regiones de trabajo cercanas al punto de equilibrio inestable (posición vertical superior), asumiendo una condición inicial ideal.

En el presente trabajo se tomarán en cuenta condiciones iniciales muy reales, y a partir de estas condiciones el péndulo deberá ser llevado a su posición vertical superior; para esto es necesario el estudio y análisis de una alternativa de control para la operación y funcionamiento del sistema mecánico péndulo-carro.

El problema consiste fundamentalmente en que la varilla o péndulo se encuentra al inicio en la posición vertical inferior (reposo). Mediante un control se logra primero levantar al péndulo hasta alcanzar el semiplano superior y luego llevarlo hasta su punto de equilibrio inestable (posición vertical superior), manteniéndolo equilibrado durante todo el tiempo.

El control consiste en aplicarle una fuerza al carro, el cual a su vez se desplaza horizontalmente, produciendo la rotación o balanceo de la varilla.

Si la fuerza aplicada al carro es conveniente, producirá un continuo aumento de la energía del sistema hasta un nivel máximo deseado, de manera que se incremente el balanceo del péndulo, llevándolo desde su posición vertical inferior estable hasta su posición vertical superior inestable, punto en el cual se debe regular su posición para mantenerlo en forma vertical por todo el tiempo.

En este tipo de sistemas es indispensable utilizar un control híbrido, el cual consiste de un sistema continuo en el tiempo con dos formas de control (o a

veces más), y se debe seleccionar entre ellos el que se va a aplicar durante cierto tiempo mediante algún mecanismo de decisión.

Mediante el control híbrido se podrá balancear el péndulo desestabilizando el sistema para luego capturarlo en el semiplano vertical superior y estabilizar el sistema nuevamente. Se propone entonces un control no lineal que incremente primero la energía de balanceo del sistema mecánico hasta alcanzar una energía máxima deseada, y en este punto interviene un regulador cuadrático lineal (LQR) que estabiliza el sistema.

Una herramienta muy importante para analizar y diseñar este tipo de sistemas es el uso de un computador que permite simular el comportamiento del péndulo y observar la animación gráfica de su movimiento; con esto se facilita al estudiante la comprensión de este fenómeno físico, para lo cual se utiliza un software de programación muy útil y fácil de manejar; éste ha venido siendo una herramienta muy importante a la hora de realizar cálculos muy complejos en tiempos muy cortos. Este software de programación llamado MATLAB es muy conocido en el área de Sistemas de Control, y permite desarrollar programas que faciliten en gran parte la comprensión del comportamiento de diversos sistemas; el programa de computación debe, a través de una interface muy amigable con el usuario, permitir una visualización gráfica del comportamiento del péndulo frente a un determinado sistema de control.

El desarrollo del presente trabajo, entonces se basa en la utilización del MATLAB como lenguaje de programación para obtener una aplicación que permita

visualizar el funcionamiento del péndulo en diferentes circunstancias y estados, y su respuesta frente al control híbrido que se aplica, obteniendo resultados en la simulación muy reales; es decir, como si se estuviera trabajando con la planta real del sistema péndulo - carro.

Capítulo I

ANÁLISIS Y DESARROLLO MATEMÁTICO

1. - ANÁLISIS Y DESARROLLO MATEMÁTICO

1.1 CONCEPTOS Y DEFINICIONES TEÓRICAS

1.1.1 SISTEMAS LINEALES

Un sistema se denomina lineal si cumple con el principio de superposición. Este principio establece que la respuesta producida al aplicar simultáneamente en la entrada dos funciones diferentes es la suma de las respuestas individuales.

Una ecuación diferencial es lineal si sus coeficientes son constantes o son funciones sólo de la variable independiente. Existen sistemas lineales invariantes en el tiempo, los cuales se describen mediante ecuaciones diferenciales lineales de coeficientes constantes, y los sistemas que se representan mediante ecuaciones diferenciales cuyos coeficientes son funciones del tiempo se denominan sistemas lineales variantes con el tiempo.

La teoría de control lineal está predominantemente relacionada con el estudio de los sistemas de control invariantes en el tiempo, estos sistemas se los puede representar de la siguiente forma:

$$\dot{x} = Ax + Bf(t) \quad (1.1.0)$$

Donde x es el vector de estado, A es la matriz principal del sistema de orden $n \times n$, \dot{x} es la derivada, B es una matriz de orden $n \times 1$ y $f(t)$ es la señal de control. Los sistemas lineales invariantes en el tiempo tienen varias propiedades:

- Un único punto de equilibrio si la matriz A es no singular.

- El punto de equilibrio es estable si todos los valores propios de A tienen parte real negativa.
- La señal externa $f(t)$, debe satisfacer el principio de superposición; además el sistema en lazo cerrado debe tener estabilidad asintótica, lo que implica desde el punto de vista de descripción externa que para cada entrada limitada la salida es limitada y para una entrada sinusoidal la respuesta en la salida en estado estable debe ser sinusoidal y de la misma frecuencia.

1.1.2 SISTEMAS NO LINEALES.

Un sistema es no lineal si no se aplica el principio de superposición. Por lo tanto, para un sistema no lineal, la respuesta a dos entradas no puede calcularse tratando cada una a la vez y sumando los resultados.

Los sistemas físicos existentes en la realidad son intrínsecamente no lineales, los cuales se describen en base a ecuaciones diferenciales no lineales. Algunos de estos sistemas de control pueden ser aproximados a un sistema lineal siempre y cuando estén dentro de un rango de trabajo pequeño.

Un sistema no lineal puede tener diferentes tipos de no linealidades y se las puede clasificar como naturales y artificiales.

No linealidades naturales son aquellas que están integradas al sistema como parte de su naturaleza física, como por ejemplo la fuerza centrípeta en el movimiento rotatorio considerada como función del ángulo. Estas no linealidades naturales pueden presentar efectos no deseados en el sistema de control.

Una no linealidad artificial, como su nombre lo dice es aquella que es insertada en el sistema de control por parte del diseñador con el objeto de mejorar su comportamiento o para simplificar la construcción del sistema, como ejemplo de

no linealidad artificial se puede citar el relé con histéresis para los sistemas industriales de calefacción, refrigeración, etc.

1.1.3 ANÁLISIS DE SISTEMAS NO LINEALES.

El estudio de las técnicas de análisis para un sistema no lineal es muy importante por muchos aspectos, como los siguientes:

Se pueden obtener las características de funcionamiento del sistema.

La simulación de un control no lineal es una herramienta muy útil para observar el comportamiento del sistema.

El diseño de un sistema de control se basa en técnicas de análisis del sistema.

Para el análisis existen muchos métodos, de los que se describen los más importantes.

1.1.3.1 Retrato de Fase en el Espacio de Estado.

El retrato de fase, es un método gráfico que permite generar en el espacio de estado, las trayectorias correspondientes a diferentes condiciones iniciales y consecuentemente analizar cualitativamente las características del sistema.

Así, tomando como ejemplo el siguiente sistema no lineal:

$$\dot{x}_1 = f_1(x_1, x_2) \quad (1.1.1)$$

$$\dot{x}_2 = f_2(x_1, x_2) \quad (1.1.2)$$

El retrato de fase se genera por medio de los estados x_1 y x_2 , los cuales forman geoméricamente las coordenadas del plano.

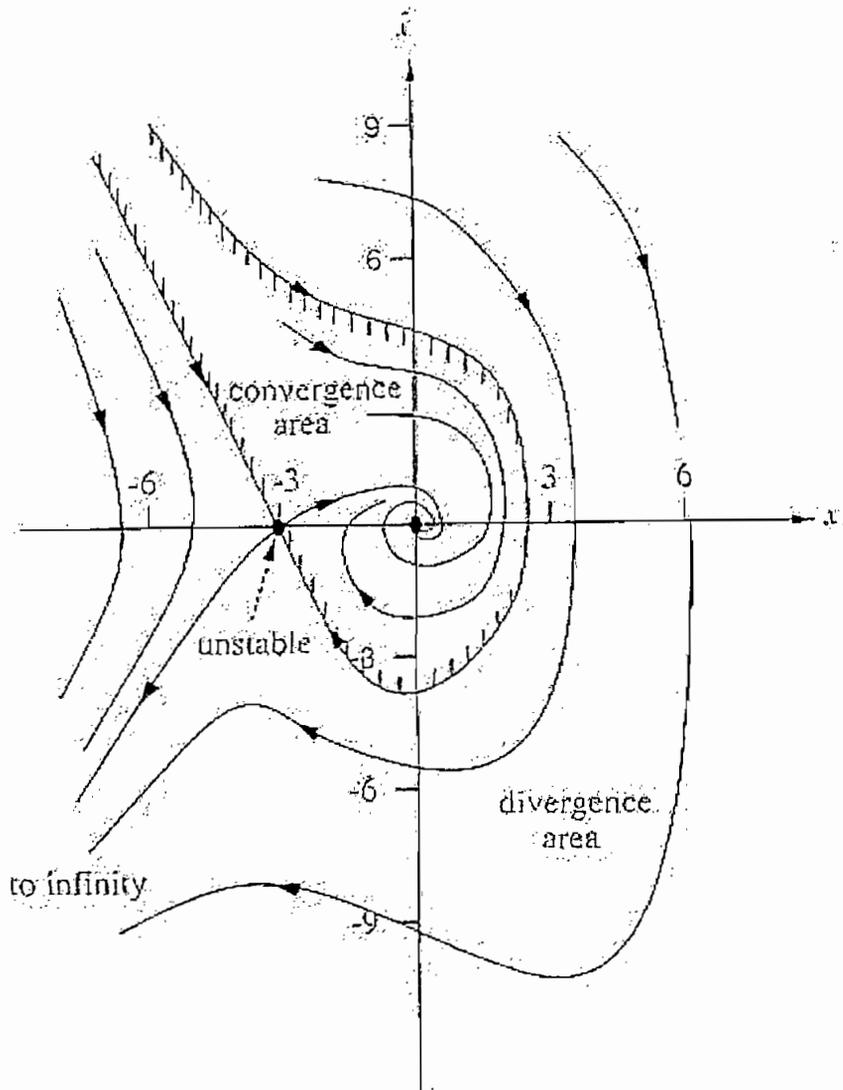


Figura 1.1.1 Retrato de fase de un sistema no lineal.

1.1.3.2 Puntos De Equilibrio Para Sistemas No Lineales.

Un punto de equilibrio es físicamente el estado en el cual el sistema puede permanecer o mantener sus condiciones por todo el tiempo sin presentar

alteraciones del mismo; en el espacio de estado, corresponde a una trayectoria invariante en el tiempo.

En la figura 1.1.2 se tiene una bola, la cual es libre de rodar a través de la trayectoria. La bola podría detenerse y permanecer estática en los puntos A, E, F, G y en cualquier punto entre B y D, por ejemplo en C. Todos estos son puntos de equilibrio del sistema.

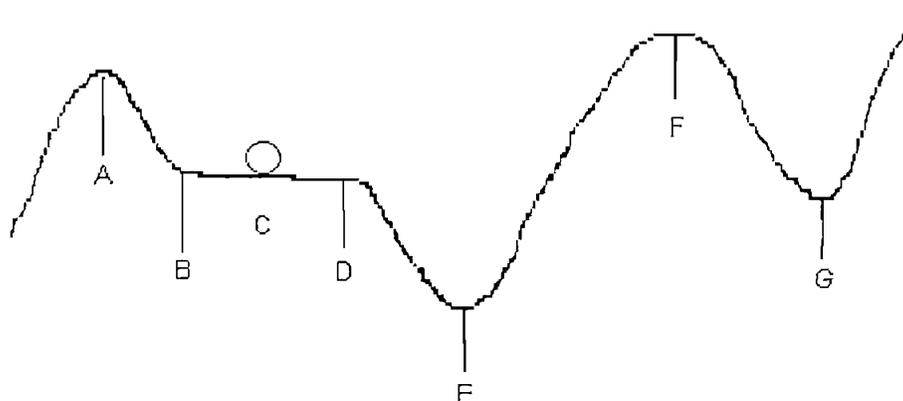


Figura 1.1.2 Puntos de equilibrio.

Si se produce una pequeña perturbación sobre la bola cuando está en los puntos A y F, la bola pierde su estado de equilibrio, por lo tanto son *puntos de equilibrio inestables*. Ahora, si la bola se encuentra en E y G y se produce una perturbación, la bola tenderá a adoptar la misma posición de equilibrio, por lo tanto E y G son *puntos de equilibrio estables*. En cambio C se considera como un *punto de equilibrio neutralmente estable*.

Los sistemas no lineales frecuentemente presentan más de un punto de equilibrio.

Matemáticamente el estado $X_e = 0$ es un punto de equilibrio del sistema:

$$\dot{x} = f(x) \quad (1.1.3)$$

siempre y cuando $x(t)$ sea igual a x_e , y mantenga esta condición por todo el tiempo; esto significa que:

$$0 = f(x_e) \quad (1.1.4)$$

Al resolver la ecuación 1.1.4 se obtienen todos los puntos de equilibrio del sistema.

Para el sistema 1.1.0, el punto de equilibrio se lo obtiene a partir del siguiente cálculo:

$$0 = Ax_e + Bf \quad (1.1.5)$$

$$x_e = -A^{-1}Bf, \text{ con } f \text{ constante.}$$

Si A es una matriz no singular el sistema tiene un solo punto de equilibrio.

1.1.3.3 Ciclos Límites En Un Sistema No Lineal.

Los sistemas no lineales autónomos pueden trabajar en forma oscilatoria con una determinada amplitud y período. Este comportamiento oscilatorio es conocido como ciclo límite del sistema.

Muchas veces los ciclos límites son indeseables; como ejemplo está el ciclo límite que se podría producir por la fuerza aerodinámica en la estructura de un avión, causando vibraciones que pueden ser de gran peligro en el control del vuelo.

Al obtener el retrato de fase de un sistema de control se puede observar la existencia o no de un ciclo límite, como en la curva cerrada de la figura 1.1.3.

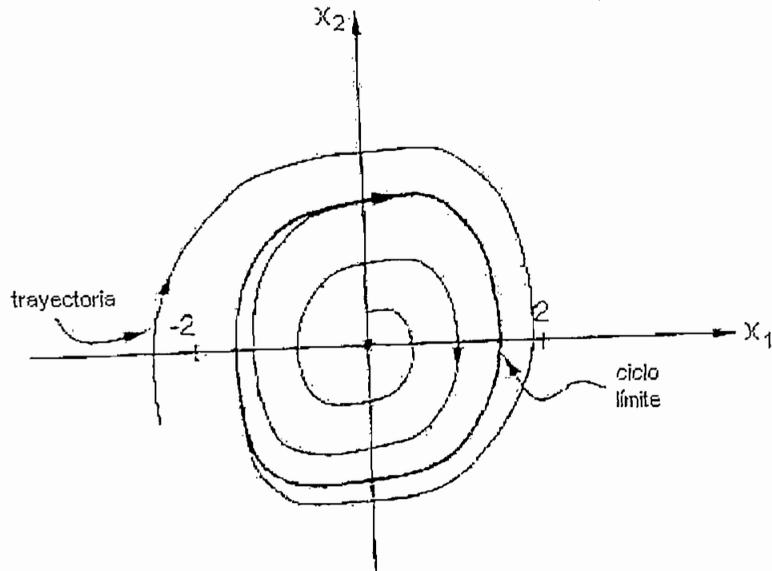


Figura 1.1.3 Retrato de Fase y Ciclo Límite.

De acuerdo a las trayectorias seguidas por las curvas en el retrato de fase, se tienen tres tipos de ciclos límites:

Ciclo Límite Estable.- Cuando todas las trayectorias en la vecindad del ciclo límite tienden a él mientras $t \rightarrow \infty$. (Figura 1.1.4).

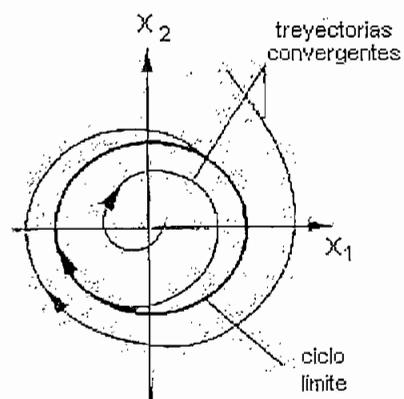


Figura 1.1.4 Ciclo Límite Estable

Esta definición no involucra al sistema completo.

Ciclo Límite Inestable.- Si todas las trayectorias en la vecindad del ciclo límite divergen de éste cuando $t \rightarrow \infty$. (Figura 1.1.5).

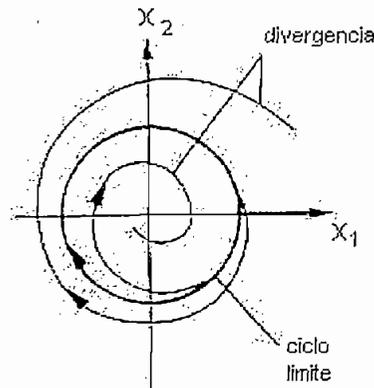


Figura 1.1.5 *Ciclo Límite Inestable.*

Ciclo Límite Semi Estable.- Si algunas de las trayectorias en la vecindad del ciclo límite convergen a éste, mientras otras divergen cuando $t \rightarrow \infty$. (Figura 1.1.6).

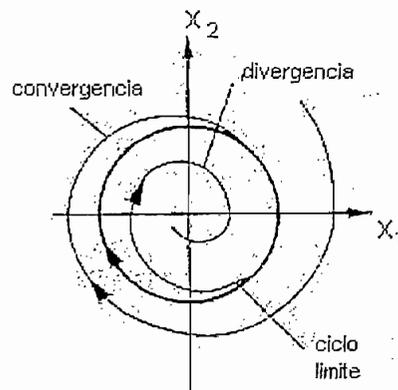


Figura 1.1.6 *Ciclo Límite Semi Estable.*

1.1.3.4 Conceptos De Estabilidad Según Lyapunov.

1.1.3.4.1 Primer Método de Lyapunov

Este estudio implica algunas consideraciones:

1.- Al punto de equilibrio se lo considera en el origen, por lo tanto $x_e = 0$.

2.- Existe una región cerrada R en el espacio de estado que contiene al punto de equilibrio.

3.- La estabilidad está referida a las zonas dentro de la región R ; es decir, al comportamiento del sistema en las proximidades al punto de equilibrio, cuando R es de dimensiones pequeñas (estabilidad local).

Entonces, se define un punto de equilibrio $x_e = 0$ como estable en el sentido de Lyapunov si, en correspondencia con cada $S(\epsilon)$, existe un $S(\delta)$ tal que las trayectorias que empiezan en $S(\delta)$ no se alejan de $S(\epsilon)$ conforme el tiempo se incrementa indefinidamente (Ver Figura 1.1.7a).

La estabilidad asintótica significa que el sistema es estable y todas las trayectorias del sistema que inician dentro de $S(\delta)$ convergen a x_e , sin apartarse de $S(\epsilon)$ al incrementarse el tiempo indefinidamente (Figura 1.1.7b).

La figura 1.1.7c se define como punto de equilibrio inestable.

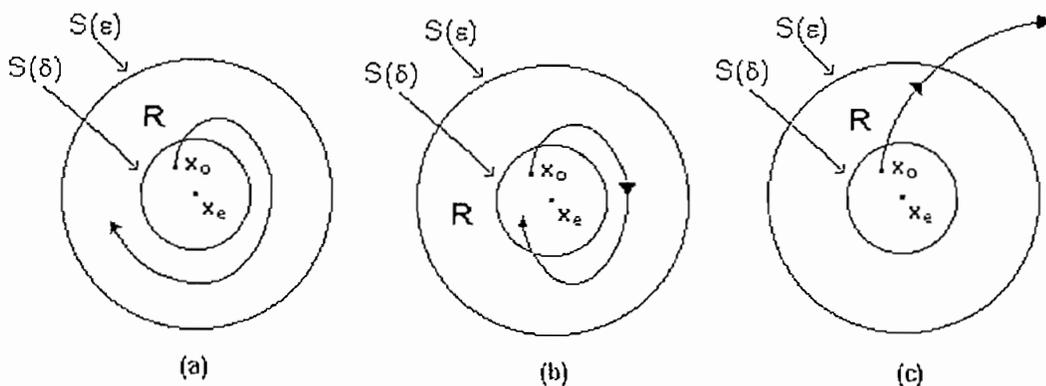


Figura 1.1.7 Conceptos de estabilidad.

(a) Estable. (b) Asintóticamente Estable. (c) Inestable.

1.1.3.4.2 Segundo Método o Método Directo de Lyapunov.

El segundo método de Lyapunov es una herramienta para el análisis de estabilidad en sistemas lineales y no lineales. La característica más importante de este método es que no se requiere la solución de las ecuaciones diferenciales para poder definir la estabilidad del sistema.

La filosofía del segundo método de Lyapunov es la observación física del funcionamiento del sistema. Si la energía total es continuamente disipada, el sistema se detendrá en su punto de equilibrio cuando alcance el valor mínimo de energía.

El procedimiento básico del método directo o segundo método de Lyapunov es generar una función escalar para el sistema dinámico y examinar su variación en el tiempo. Sin embargo, existen sistemas para los cuales no es fácil obtener esta función escalar. Para eliminar esta dificultad Lyapunov introdujo una función de energía $V(x)$ llamada *Función de Lyapunov*.

Dado un sistema descrito por $\dot{x} = f(x)$ con $f(0) = 0$, si las siguientes condiciones se cumplen. El punto de equilibrio $x_e = 0$ es asintóticamente estable.

- $V(0) = 0$ y $V(x)$ es continua para todo x .
- $V(x)$ es positiva definida, es decir: $V(x) \geq 0$, con $V(x) = 0$ solo si $x = 0$.
- $\dot{V}(x)$ es negativa definida, es decir: $\dot{V}(x) \leq 0$ con $\dot{V}(x) = 0$ solo si $x = 0$.

Para definir la estabilidad asintótica global es necesario la siguiente condición adicional:

$$0 < \phi(\|x\|) < V(x)$$

donde ϕ es cualquier función de la norma de x , tal que:

$$\lim_{\|x\| \rightarrow \infty} \phi(\|x\|) = \infty$$

La estabilidad resultante puede ser explicada como sigue: líneas de $V(x)$ constantes forman regiones cerradas alrededor del punto $x = 0$, como se muestra en la figura 1.1.8, las trayectorias de estado se moverán en estas regiones. Si el gradiente de estas regiones se dirige hacia el punto $x = 0$, el sistema se detendrá en este punto que es el estado de equilibrio.

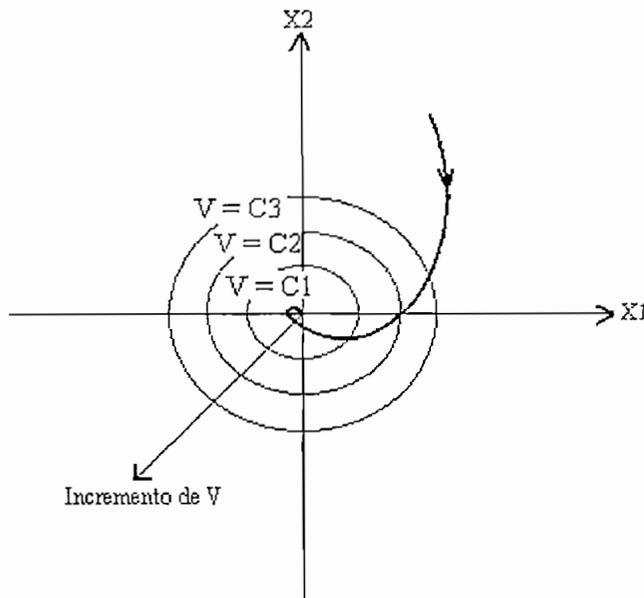


Figura 1.1.8 Contornos de V constante.

1.1.4 DISEÑO DE SISTEMAS DE CONTROL NO LINEALES

Al hablar de un sistema de control se hace referencia a un sistema físico, el cual deberá ser controlado, para lo que se deben establecer las especificaciones requeridas para su funcionamiento.

Un problema de control puede ser dividido en dos clases: problema de estabilización o regulación y problema de seguimiento.

1.1.4.1 El Problema De Regulación.

La regulación o estabilización del sistema descrito por la ecuación de estado

$\dot{x} = f(x, f, t)$ (sistema no lineal variante en el tiempo) significa encontrar una señal de control f tal que, si el sistema inicia en cualquier punto de la región R , el estado x del sistema tienda a 0 cuando $t \rightarrow \infty$.

Si esta señal de control depende directamente de la medición de las señales, se dice que f es una señal estática de control. Por otro lado si depende de las mediciones a través de las ecuaciones diferenciales se dice que es una señal de control dinámica.

En muchos casos el diseño de este control se torna muy complejo como en el caso del Péndulo Invertido, para el cual sería muy interesante obtener un control que permita llevar al péndulo desde su posición vertical inferior hasta su posición vertical superior.

1.1.4.2 El Problema de Seguimiento.

El problema de seguimiento significa construir un controlador tal que la salida del sistema siga a una trayectoria de referencia no necesariamente constante.

De igual manera que la regulación, el problema de seguimiento se puede definir de la siguiente forma:

Dado el sistema no lineal descrito por:

$$\dot{x} = f(x, f, t) \quad (1.1.6a)$$

$$y = h(x) \quad (1.1.6b)$$

y una trayectoria deseada para la salida $y_d(t)$, encontrar una señal de control para la entrada f tal que, si el sistema inicia en cualquier estado dentro de la región R , los errores de seguimiento $y(t) - y_d(t)$ tiendan a cero.

1.1.4.3 Especificaciones para el diseño de un control

Se deben tomar en cuenta los siguientes parámetros:

Estabilidad.- Dependiendo del problema, se debe garantizar la estabilidad del modelo en el sentido local o global, tomando en cuenta la región de estabilidad y convergencia.

Precisión y respuesta rápida. - Se debe evaluar la precisión del sistema para ciertas trayectorias en la región de funcionamiento, tomando en cuenta los tiempos de respuesta del sistema.

Robustez.- Es la sensibilidad que presenta el sistema frente a señales que pueden afectar el funcionamiento como por ejemplo señales de ruido, perturbaciones externas o dinámicas no modeladas.

1.1.4.4 Procedimiento de Análisis y Diseño Para Sistemas de Control No Lineales.

No hay un método general para afrontar todos los sistemas no lineales, porque las ecuaciones diferenciales no lineales carecen de un procedimiento general de solución. Sólo se pueden hallar soluciones exactas para algunas ecuaciones diferenciales no lineales simples. Para muchas ecuaciones diferenciales de importancia práctica, sólo es posible resolverlas mediante computadora, y tales soluciones únicamente pueden ser utilizadas bajo las condiciones limitadas para las cuales fueron obtenidas. Como no hay un método general, se puede tomar cada ecuación no lineal o grupo de ecuaciones similares en forma individual para intentar desarrollar un método de análisis que se pueda aplicar satisfactoriamente a ese grupo particular.

Luego de conocer el sistema a ser controlado, es posible guiarse por los siguientes puntos para el diseño:

- 1.- Especificar el comportamiento deseado para el sistema.
- 2.- Modelar el sistema físico de la planta por medio de un conjunto de ecuaciones diferenciales.
- 3.- Diseñar el controlador para el sistema.
- 4.- Analizar y simular los resultados del sistema de control.
- 5.- Implementar el sistema de control físicamente y adaptarlo a la planta.

1.2 DESARROLLO MATEMÁTICO DEL SISTEMA.

Se considera el sistema físico que se muestra en la figura 1.1.9, en la cual se tiene un péndulo representado por una barra rígida que se encuentra acoplada a un carro por medio de un pivote que le permite girar libremente y en forma circular alrededor de éste. El carro se desliza en forma lineal sobre una riel que coincide con el eje x .

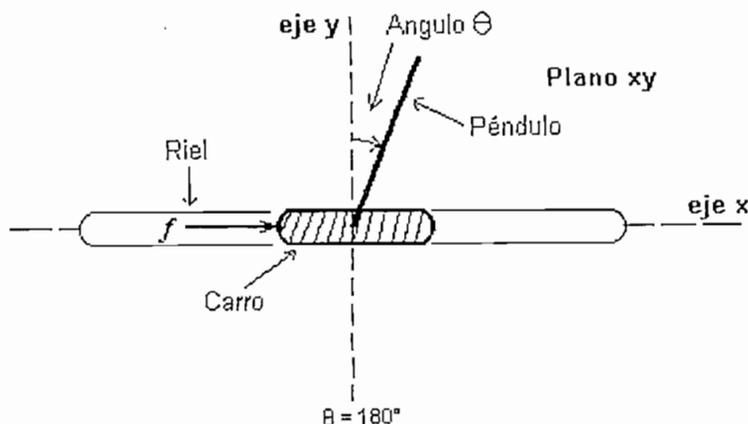


Figura 1.1.9 Sistema Mecánico Péndulo – Carro.

1.2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y CONSIDERACIONES.

Para obtener las ecuaciones matemáticas que modelan al sistema es necesario realizar un análisis de las condiciones y características de funcionamiento del péndulo en cada uno de los controles que se implementaran.

El control híbrido que se desarrollará trabaja sobre dos regiones bien definidas: la primera que es la más grande y corresponde al control de energía mediante el cual se produce el levantamiento del péndulo desde su posición vertical inferior hasta su posición vertical superior, y la segunda que es más pequeña y corresponde al regulador de posición en el cual interviene una realimentación de estado para capturar al péndulo y llevarlo hasta su estado de equilibrio inestable en $\theta = 0^\circ$.

Por las razones antes mencionadas es necesario realizar dos análisis independientes para cada una de las regiones de trabajo del péndulo, ya que los controles: tanto el de energía como el regulador de posición tienen diferentes características de funcionamiento y trabajan en forma independiente.

El análisis matemático del sistema se realizará en base a las siguientes consideraciones:

- El péndulo esta formado por una barra rígida de masa m concentrada en un solo punto.
- La masa m está ubicada exactamente en la mitad de la longitud total del péndulo $2L$, es decir se encuentra a una distancia L desde el pivote.
- Se asume que no existe ningún tipo de fuerzas de fricción en el sistema mecánico.
- El sistema de referencia utilizado es el eje x paralelo al movimiento del carro y el eje y perpendicular a este mismo movimiento.
- El origen del sistema de coordenadas se encuentra en el centro de la riel para el movimiento horizontal.
- El ángulo θ es cero cuando el péndulo se encuentra en su posición vertical superior.

Además, de acuerdo a la figura 1.1.9 se tienen los siguientes datos para los cálculos matemáticos.

M	Masa del carro
m	Masa del péndulo concentrada en un punto
l_p	Longitud total del péndulo
$L = l_p / 2$	Longitud desde el pivote al centro de gravedad del péndulo.
θ	Angulo que forma el péndulo con la vertical ($\theta = 0^\circ$ para la posición vertical superior).

J_p	Inercia del péndulo.
f	Fuerza externa aplicada al carro.
x	Coordenada de la posición del carro.

1.2.2 ANÁLISIS MATEMÁTICO PARA EL CONTROL DE ENERGÍA.

Considérese el siguiente diagrama de cuerpo libre para el sistema (figura 1.2.0), en el cual se tiene una barra rígida y de masa concentrada en un punto a una distancia $L = l_p / 2$ desde el pivote. Se grafican todas las velocidades y fuerzas que actúan sobre el péndulo cuando se quiere controlar la energía del sistema aplicando una fuerza externa.

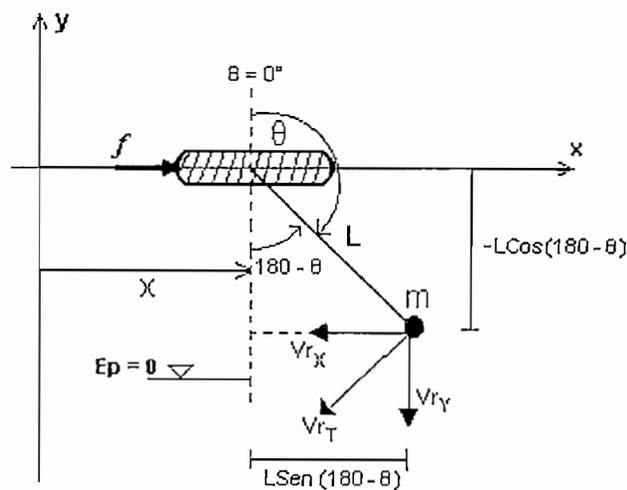


Figura 1.2.0 Diagrama de cuerpo libre para el péndulo (control de energía).

La deducción de las ecuaciones diferenciales se la puede realizar a partir del LAGRANGIANO del sistema:

$$L = E_c - E_p \quad (1.1.7)$$

$E_c = \text{Energía Cinética Total}$

$E_p = \text{Energía Potencial Total}$

La energía cinética total del sistema se compone de dos partes una debida al movimiento del péndulo y la otra producida por el movimiento del carro, se analizará en forma independiente cada una de ellas:

$$E_c = E_{c_{\text{carro}}} + E_{c_{\text{pend}}} \quad (1.1.8)$$

Para el cálculo de la energía cinética del carro interviene solo el movimiento traslacional, entonces se tiene:

$$E_{c_{\text{carro}}} = \frac{1}{2} M(\dot{x})^2 \quad (1.1.9)$$

Para calcular la energía cinética del péndulo se utilizará la velocidad de rotación V_{rT} ; por lo tanto, la ecuación queda como sigue:

$$E_{c_{\text{pend}}} = \frac{1}{2} m V_{rT}^2 \quad (1.2.0)$$

Donde:

$$V_{rT}^2 = V_{rx}^2 + V_{ry}^2 \quad (1.2.1)$$

De la figura 1.2.0 se puede obtener V_{rx} y V_{ry} , mediante la derivada de la posición x & y con respecto al tiempo, por lo tanto:

$$V_{rx} = \frac{d}{dt} [x + L \text{Sen}(180 - \theta)] = \dot{x} + L \dot{\theta} \text{Cos} \theta \quad (1.2.2)$$

$$V_{ry} = \frac{d}{dt} [-L \cos(180 - \theta)] = -L \dot{\theta} \text{Sen } \theta \quad (1.2.3)$$

Reemplazando 1.2.2 y 1.2.3 en 1.2.1 se tiene:

$$V_{rT}^2 = (\dot{x} + L \dot{\theta} \text{Cos } \theta)^2 + (-\dot{\theta} L \text{Sen } \theta)^2 \quad (1.2.4)$$

De las ecuaciones 1.2.0 y 1.2.4 se obtiene la energía cinética del péndulo:

$$E_{c_{\text{pend}}} = \frac{1}{2} m [(\dot{x} + L \dot{\theta} \text{Cos } \theta)^2 + (-L \dot{\theta} \text{Sen } \theta)^2] \quad (1.2.5)$$

Resolviendo la expresión anterior se tiene:

$$E_{c_{\text{pend}}} = \frac{1}{2} m \dot{x}^2 + m \dot{x} L \dot{\theta} \text{Cos } \theta + \frac{1}{2} m L^2 \dot{\theta}^2 \quad (1.2.6)$$

Reemplazando 1.1.9 y 1.2.6 en 1.1.8 se tiene la energía cinética del sistema:

$$E_c = \frac{1}{2} M \dot{x}^2 + \frac{1}{2} m \dot{x}^2 + m \dot{x} L \dot{\theta} \text{Cos } \theta + \frac{1}{2} m L^2 \dot{\theta}^2 \quad (1.2.7)$$

Para el cálculo de la energía potencial del sistema se considera que el nivel de referencia o de energía potencial cero es el punto en el cual el centro de gravedad del péndulo se encuentra en su posición más baja; es decir, cuando el péndulo está en reposo. La figura 1.2.1 permite interpretar mejor este concepto.

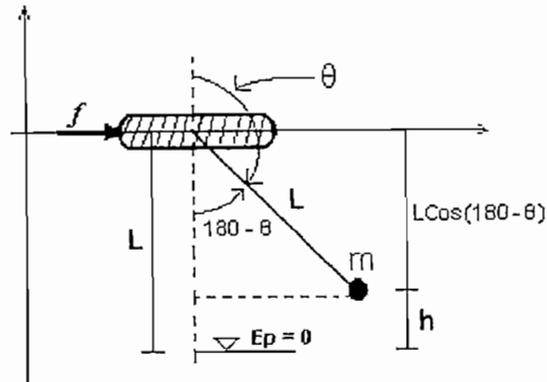


Figura 1.2.1 Energía potencial del péndulo (Control de Energía).

La energía potencial se define de la siguiente manera:

$$E_p = mgh \quad (1.2.8)$$

De la figura 1.2.1 se puede obtener la altura h .

$$h = L - L \cos(180 - \theta) = L + L \cos \theta \quad (1.2.9)$$

Por lo tanto:

$$E_p = mg(L + L \cos \theta) \quad (1.3.0)$$

Reemplazando las ecuaciones 1.2.7 y 1.3.0 en 1.1.7, se obtiene el Lagrangiano del sistema:

$$L = \frac{1}{2} M \dot{x}^2 + \frac{1}{2} m \dot{x}^2 + m \dot{x} L \dot{\theta} \cos \theta + \frac{1}{2} m L^2 \dot{\theta}^2 - mgL - mgL \cos \theta \quad (1.3.1)$$

A continuación se procede a evaluar el Lagrangiano para cada una de las coordenadas variacionales del sistema:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{x}} \right) - \frac{\partial L}{\partial x} = f \quad (1.3.2)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \dot{x}} = M \dot{x} + m \dot{x} + mL \dot{\theta} \cos \theta \quad (1.3.3)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{x}} \right) = (M+m) \ddot{x} + mL \ddot{\theta} \cos \theta - mL \dot{\theta}^2 \sin \theta \quad (1.3.4)$$

$$\frac{\partial L}{\partial x} = 0 \quad (1.3.5)$$

Al reemplazar las ecuaciones 1.3.4 y 1.3.5 en 1.3.2 se tiene la primera ecuación diferencial para el sistema:

$$f = (M+m) \ddot{x} + mL \ddot{\theta} \cos \theta - mL \dot{\theta}^2 \sin \theta \quad (1.3.6)$$

Para obtener una segunda ecuación, es necesario evaluar el Lagrangiano con respecto al ángulo:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}} \right) - \frac{\partial L}{\partial \theta} = 0 \quad (1.3.7)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}} = m \dot{x} L \cos \theta + mL^2 \dot{\theta} \quad (1.3.8)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}} \right) = m \ddot{x} L \cos \theta - mL \dot{x} \dot{\theta} \sin \theta + mL^2 \ddot{\theta} \quad (1.3.9)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \theta} = -m\dot{x}L\dot{\theta}\text{Sen } \theta + mgL\text{Sen } \theta \quad (1.4.0)$$

Al reemplazar 1.3.9 y 1.4.0 en 1.3.7, se obtiene la segunda ecuación diferencial:

$$mL^2\ddot{\theta} + m\ddot{x}L\text{Cos } \theta - mgL\text{Sen } \theta = 0 \quad (1.4.1)$$

La inercia rotacional para un cuerpo cuya masa se considera concentrada en un punto es $J_p = mL^2$; por lo tanto, reemplazando este valor en 1.4.1 se tiene:

$$J_p\ddot{\theta} + m\ddot{x}L\text{Cos } \theta - mgL\text{Sen } \theta = 0 \quad (1.4.2)$$

Por lo tanto las ecuaciones que definen la dinámica y funcionamiento del sistema desde el punto de vista del control de energía son las siguientes:

$$(M+m)\ddot{x} + mL\ddot{\theta}\text{Cos } \theta - mL\dot{\theta}^2\text{Sen } \theta = f \quad (1.4.3a)$$

$$J_p\ddot{\theta} + m\ddot{x}L\text{Cos } \theta - mgL\text{Sen } \theta = 0 \quad (1.4.3b)$$

Donde f es la fuerza externa aplicada al carro.

Si se toma como entrada la aceleración del carro tal que $\ddot{x} = u$, y despejando $\ddot{\theta}$ de 1.4.3b se tiene:

$$\ddot{\theta} = \frac{mgL\text{Sen } \theta}{J_p} - \frac{mL\text{Cos } \theta}{J_p} u \quad (1.4.4)$$

Reemplazando 1.4.4 en 1.4.3a se obtiene la fuerza f que será aplicada al carro:

$$f = (M + m \text{Sen}^2 \theta)u + mg \text{Sen} \theta \text{Cos} \theta - mL \dot{\theta}^2 \text{Sen} \theta \quad (1.4.5)$$

Para describir el sistema en variables de estado para el control de energía, se asume el siguiente vector:

$$x = \begin{bmatrix} \theta \\ \dot{\theta} \\ x \\ \dot{x} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} \quad (1.4.6)$$

Por lo tanto el sistema de ecuaciones descrito a variables de estado para el control de energía es:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2 \\ \dot{x}_2 &= \frac{mgL}{J_p} \text{Sen} x_1 - \frac{mL}{J_p} \text{Cos} x_1 u \\ \dot{x}_3 &= x_4 \\ \dot{x}_4 &= u \end{aligned} \quad (1.4.7)$$

y la fuerza aplicada al carro es:

$$f = (M + m \text{Sen}^2 x_1)u + mg \text{Sen} x_1 \text{Cos} x_1 - mL x_2^2 \text{Sen} x_1 \quad (1.4.8)$$

1.2.2.1 Control de Energía.

La energía total del péndulo es:

$$H = E_{C_{\text{pend}}} + E_{P_{\text{pend}}} \quad (1.4.9)$$

Donde H = Energía total del péndulo
 $E_{C_{pend}}$ = Energía cinética del péndulo
 $E_{P_{pend}}$ = Energía potencial del péndulo

La energía cinética del péndulo se debe únicamente al movimiento rotacional y se determina por medio de la siguiente ecuación:

$$E_{C_{pend}} = \frac{1}{2} J_p \dot{\theta}^2 \quad (1.5.0)$$

La energía potencial se define por medio de la ecuación 1.3.0.

Reemplazando las ecuaciones: 1.3.0 y 1.5.0 en 1.4.9 se obtiene la energía total del péndulo:

$$H = \frac{1}{2} J_p \dot{\theta}^2 + mgL(1 + \cos\theta) \quad (1.5.1)$$

Para poder levantar el péndulo hasta su posición vertical superior, será necesario entregarle una cantidad de energía que sea igual a la que posee el péndulo cuando éste se encuentra en ésta posición.

Si H_D es la energía deseada y correspondiente a la posición vertical del péndulo ($\theta = 0^\circ$), aplicando la ecuación 1.3.0 se tiene:

$$H_D = 2mgL \quad (1.5.2)$$

Para cada posición del péndulo, la energía que necesita para su levantamiento es:

$$E = H - H_D \quad (1.5.3)$$

Reemplazando la ecuación 1.5.1 en 1.5.3 se tiene:

$$E = 1/2 J_p \dot{\theta}^2 + mgL(1 + \cos \theta) - H_D \quad (1.5.4)$$

Derivando 1.5.4 se obtiene la variación de la energía con respecto al tiempo.

$$\dot{E} = J_p \dot{\theta} \ddot{\theta} - mgL \text{Sen } \theta \dot{\theta} \quad (1.5.5)$$

Reemplazando la ecuación 1.4.4 en 1.5.5 se llega al siguiente resultado, en donde se observa que la variación de la energía depende de la aceleración u :

$$\dot{E} = -mL \dot{\theta} \cos \theta u \quad (1.5.6)$$

De acuerdo con la definición de estabilidad de **Lyapunov** todo sistema que disipa energía, luego de un tiempo determinado alcanza su estado de equilibrio.

Como se puede ver en 1.5.6, el signo negativo de la derivada de E determina que el péndulo pierde energía. El objetivo del control es hacer que el sistema gane energía para desestabilizarlo y sacarlo de su punto de equilibrio estable ($\theta = 0^\circ$).

Si se consigue que la ecuación 1.5.6 cambie de signo mediante alguna función u , el sistema cambiará su característica de funcionamiento y estará ganando energía, lo que significa, según la teoría de **Lyapunov** que el sistema se alejará del punto de equilibrio estable.

Una estrategia simple para controlar la energía del péndulo es:

$$u = K \dot{\theta} \cos \theta E \quad (1.5.7)$$

Donde K es una constante positiva.

Reemplazando 1.5.7 en 1.5.6 se tiene el siguiente resultado:

$$\dot{E} = -K m L \dot{\theta}^2 \cos^2 \theta E \quad (1.5.8)$$

\dot{E} debe ser positivo para poder incrementar la energía del sistema. Como se ve en 1.5.8, al evaluar esta ecuación para cualquier condición de θ y $\dot{\theta}$ se obtendrá un resultado positivo, ya que si se analiza la cantidad de energía E (ecuación 1.5.4), ésta siempre será negativa, debido a que la energía del péndulo (H) en un determinado instante siempre es menor que la energía deseada (H_D) para poder alcanzar la posición superior.

La señal de control u hará que la energía del sistema converja al valor deseado.

Es muy importante considerar la posición y velocidad del carro dentro del control de energía, estas variables deben ser reguladas para que se estabilicen en cero, sin que perturben el balanceo del péndulo, por lo tanto; es necesario hacer una modificación en la señal de control 1.5.7, definiéndola de la siguiente forma:

$$u = u_p + u_c \quad (1.5.9)$$

Donde u_p es el control de energía y corresponde a la ecuación 1.5.7, por lo tanto:

$$u_p = K\dot{\theta} \cos\theta E \quad (1.6.0)$$

u_c controla la velocidad y la posición del carro, haciendo que estas variables siempre se estabilicen en cero, para lo cual se propone un control PD (Proporcional Derivativo) críticamente amortiguado, que se define a continuación:

$$u_c = -Kd\dot{x} - Kp x \quad (1.6.1)$$

Haciendo $Kd = 2\xi\omega_c$ y $Kp = \omega_c^2$, se obtiene un sistema amortiguado de segundo orden, en donde:

ω_c = frecuencia de corte

$\xi = 1$ coeficiente de amortiguamiento crítico.

Por lo tanto si se reemplazan estos valores en 1.6.1 se tiene:

$$u_c = -2\omega_c \dot{x} - \omega_c^2 x \quad (1.6.2)$$

Entonces la señal de control completa se la obtiene al reemplazar las ecuaciones 1.6.0 y 1.6.2 en la ecuación 1.5.9:

$$u = K\dot{\theta} \cos\theta E - (2\omega_c \dot{x} + \omega_c^2 x) \quad (1.6.3)$$

Por lo tanto una vez definida la señal de control que se utilizará, se puede escribir el sistema de ecuaciones dado por 1.4.7, conjuntamente con la señal de control:

$$\begin{aligned}\dot{x}_1 &= x_2 \\ \dot{x}_2 &= \frac{mgL}{J_p} \text{Sen } x_1 - \frac{mL}{J_p} \text{Cos } x_1 u \\ \dot{x}_3 &= x_4 \\ \dot{x}_4 &= u\end{aligned}\tag{1.6.4}$$

$$u = Kx_2 \text{Cos } x_1 E - (2\omega_c x_4 + \omega_c^2 x_3)$$

$$E = 1/2 J_p x_2^2 + mgL(1 + \text{Cos } x_1) - H_D$$

$$f = (M + m \text{Sen}^2 x_1)u + mg \text{Sen } x_1 \text{Cos } x_1 - mLx_2^2 \text{Sen } x_1$$

Donde f es la fuerza que debe ser aplicada al carro, la cual puede ser calculada a partir de la señal de control u , y de los parámetros y características del péndulo.

Haciendo un análisis práctico del sistema, esta fuerza f debe ser traducida en un torque que se genera a través de un motor, el cual proporciona el movimiento del carro en forma horizontal.

1.2.3 ANÁLISIS MATEMÁTICO PARA EL REGULADOR DE POSICIÓN.

De igual manera que para el análisis de las ecuaciones del control de energía; el análisis del regulador de posición se lo hace a partir del diagrama de cuerpo libre del péndulo, pero ahora cuando éste se encuentra cercano al punto de equilibrio superior (Figura 1.2.2).

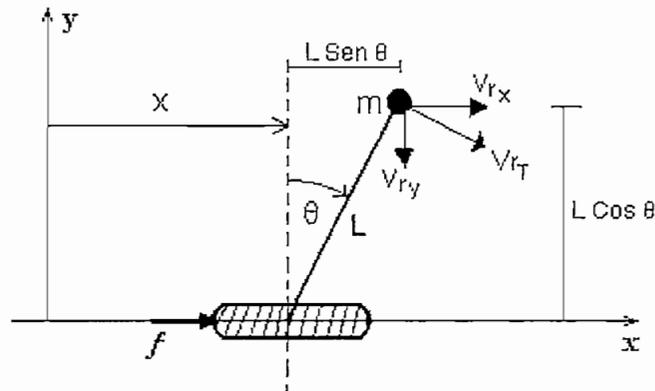


Figura 1.2.2 Diagrama de Cuerpo Libre del Péndulo (Regulador de Posición).

Usando la notación antes ya detallada, las ecuaciones diferenciales para el sistema se las obtiene a partir del Lagrangiano (ecuación 1.1.7).

$$E_c = E_{c_{\text{carro}}} + E_{c_{\text{pend}}} \quad (1.6.5)$$

La energía cinética del carro depende del movimiento traslacional, y la energía cinética del péndulo del movimiento rotacional, por lo tanto:

$$E_{c_{\text{carro}}} = \frac{1}{2} M (\dot{x})^2 \quad (1.6.6)$$

$$E_{c_{\text{pend}}} = \frac{1}{2} m V_{rT}^2 \quad (1.6.7)$$

Donde:

$$V_{rT}^2 = V_{rx}^2 + V_{ry}^2 \quad (1.6.8)$$

V_{rx} y V_{ry} se obtienen derivando la posición del péndulo con respecto al tiempo, entonces:

$$V_{rx} = \frac{d}{dt}[x + L \text{Sen} \theta] = \dot{x} + L \dot{\theta} \text{Cos} \theta \quad (1.6.9)$$

$$V_{ry} = \frac{d}{dt}[L \text{Cos} \theta] = -L \dot{\theta} \text{Sen} \theta \quad (1.7.0)$$

Reemplazando 1.6.9 y 1.7.0 en 1.6.8 se tiene:

$$V_{rt}^2 = (\dot{x} + L \dot{\theta} \text{Cos} \theta)^2 + (-\dot{\theta} L \text{Sen} \theta)^2 \quad (1.7.1)$$

De las ecuaciones 1.6.7 y 1.7.1 se obtiene la energía cinética del péndulo:

$$E_{C_{\text{pend}}} = \frac{1}{2} m [(\dot{x} + L \dot{\theta} \text{Cos} \theta)^2 + (-\dot{\theta} L \text{Sen} \theta)^2] \quad (1.7.2)$$

Resolviendo se tiene:

$$E_{C_{\text{pend}}} = \frac{1}{2} m \dot{x}^2 + m \dot{x} L \dot{\theta} \text{Cos} \theta + \frac{1}{2} m L^2 \dot{\theta}^2 \quad (1.7.3)$$

La energía cinética del sistema se la obtiene al reemplazar las ecuaciones 1.6.6 y 1.7.3 en 1.6.5, por lo tanto:

$$E_c = \frac{1}{2} M \dot{x}^2 + \frac{1}{2} m \dot{x}^2 + m \dot{x} L \dot{\theta} \text{Cos} \theta + \frac{1}{2} m L^2 \dot{\theta}^2 \quad (1.7.4)$$

Para calcular la energía potencial se utilizará el siguiente gráfico:

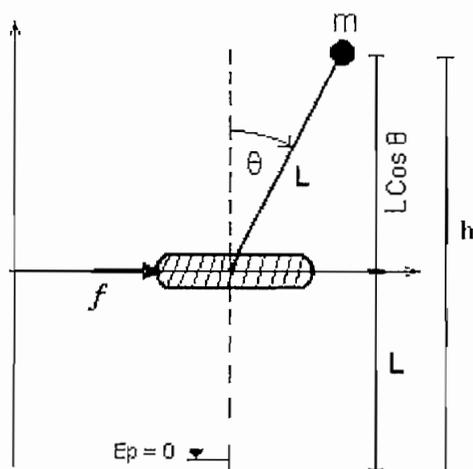


Figura 1.2.3 Energía potencial del péndulo (Regulador de Posición).

Donde:

$$E_p = mgh \quad (1.7.5)$$

De la figura 1.2.3, se calcula la altura h:

$$h = L + L \cos \theta \quad (1.7.6)$$

Por lo tanto:

$$E_p = mg (L + L \cos \theta) \quad (1.7.7)$$

Reemplazando las ecuaciones 1.7.4 y 1.7.7 en 1.1.7, se obtiene el Lagrangiano del sistema:

$$L = \frac{1}{2} M \dot{x}^2 + \frac{1}{2} m \dot{x}^2 + m \dot{x} L \dot{\theta} \cos \theta + \frac{1}{2} m L^2 \dot{\theta}^2 - mgL - mgL \cos \theta \quad (1.7.8)$$

Debido a que el Lagrangiano para el control de energía (Ecuación 1.3.1) coincide en su totalidad con el Lagrangiano obtenido para el regulador de posición (Ecuación 1.7.8), se concluye que el sistema péndulo – carro cumple con la

misma dinámica dada por las ecuaciones 1.4.3a y 1.4.3b. El sistema de ecuaciones diferenciales para el regulador de posición se obtendrán a partir de esta dinámica.

Despejando la segunda derivada de la posición \ddot{x} de la ecuación 1.4.3b y simplificando los términos semejantes se tiene:

$$\ddot{x} = g \tan \theta - \frac{J_p}{mL} \sec \theta \ddot{\theta} \quad (1.7.9)$$

Reemplazando 1.7.9 en la ecuación 1.4.3a y $J_p = mL^2$, se llega al siguiente resultado:

$$\ddot{\theta} = \frac{(M+m)g \tan \theta - mL \text{Sen} \theta \dot{\theta}^2 - f}{(M+m)L \text{Sec} \theta - mL \text{Cos} \theta} \quad (1.8.0)$$

Mediante las ecuaciones 1.7.9 y 1.8.0 se tiene:

$$\ddot{x} = \frac{-mg \text{Sen} \theta \text{Cos} \theta + mL \text{Sen} \theta \dot{\theta}^2 + f}{(M+m) - mL \text{Cos}^2 \theta} \quad (1.8.1)$$

Por lo tanto, con 1.8.0 y 1.8.1 se puede plantear el sistema de ecuaciones diferenciales a variables de estado utilizando el vector de estado definido en 1.4.6.

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2 & &= f_1 \\ \dot{x}_2 &= \frac{(M+m)g \tan x_1 - mL \text{Sen} x_1 x_2^2 - f}{(M+m)L \text{Sec} x_1 - mL \text{Cos} x_1} & &= f_2 \\ \dot{x}_3 &= x_4 & &= f_3 \\ \dot{x}_4 &= \frac{-mg \text{Sen} x_1 \text{Cos} x_1 + mL \text{Sen} x_1 x_2^2 + f}{(M+m) - mL \text{Cos}^2 x_1} & &= f_4 \end{aligned} \quad (1.8.2)$$

Se debe destacar que los dos sistemas de ecuaciones diferenciales, 1.4.7 para el control de energía y 1.8.2 para el regulador de posición son los mismos pero escritos de diferente forma para cumplir con cada uno de los objetivos del control que se desarrolla.

1.2.3.1 Linealización del Sistema para el Regulador De Posición.

Como se ha demostrado en trabajos desarrollados anteriormente sobre el péndulo, éste posee dos estados de equilibrio: Uno inestable en la posición vertical superior ($\theta = 0^\circ$) y otro estable en la posición vertical inferior o de descanso del péndulo ($\theta = 180^\circ$).

La regulación de posición que estabilizará el péndulo en la posición vertical superior se basa en el sistema de ecuaciones diferenciales 1.8.2, el cual será linealizado alrededor del punto de equilibrio x_e correspondiente a la posición vertical superior y que se define con el siguiente vector:

$$x_e = \begin{bmatrix} \theta \\ \dot{\theta} \\ x \\ \dot{x} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (1.8.3)$$

Del sistema de ecuaciones no lineales 1.8.2, se debe obtener un sistema lineal de la forma:

$$\dot{x} = Ax + Bf$$

Donde:

$$A_{ij} = \left. \frac{\partial f_i}{\partial x_j} \right|_{x_e} \quad (1.8.4)$$

$$B_{ij} = \left. \frac{\partial f_i}{\partial f} \right|_{x_e} \quad (1.8.5)$$

f_i son las ecuaciones diferenciales del sistema definidas en 1.8.2, $i = 1, 2, 3, 4$ y $j = 1, 2, 3, 4$ representan las variables de estado.

Realizando los cálculos respectivos de las derivadas, se obtiene los siguientes resultados para las matrices A y B.

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ \frac{(M+m)g}{ML} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ -\frac{mg}{M} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (1.8.6)$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ -\frac{1}{ML} \\ 0 \\ \frac{1}{M} \end{bmatrix} \quad (1.8.7)$$

1.2.3.2 Regulador de Posición (LQR).

Una vez obtenido el regulador de energía que balancea al péndulo y lo lleva al plano vertical superior, es necesario un regulador de posición que permita

capturar el péndulo una vez que éste alcance cierto valor de energía para estabilizarlo en su punto de equilibrio inestable ($\theta = 0^\circ$).

El sistema mecánico definido mediante variables de estado se lo puede expresar de la siguiente forma:

$$\begin{aligned}\dot{x} &= Ax + Bf \\ y &= Cx + Df\end{aligned}\tag{1.8.8}$$

Donde A y B son las matrices 1.8.6 y 1.8.7 respectivamente. C y D se representan a continuación:

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}\tag{1.8.9}$$

$$D = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}\tag{1.9.0}$$

Mediante variables de estado se puede implementar un regulador cuadrático lineal (LQR), para obtener un vector de ganancia k que determine una señal de control de la forma:

$$f = -kx\tag{1.9.1}$$

Donde x es el vector de estado del sistema.

Como la herramienta de simulación del presente trabajo es MATLAB, entonces; se utilizará este software para calcular el vector de realimentación, ya que mediante la instrucción LQR es muy fácil obtener el valor de k , la sintaxis es la siguiente:

$$k = \text{lqr} (A, B, Q, R)\tag{1.9.2}$$

Donde: k = vector de ganancia para la realimentación de estado.

A y B son las matrices del modelo del sistema.

Q y R son matrices de ponderación.

Las matrices Q y R permiten dar cierto valor de ponderación a los estados del péndulo para una mayor optimización del regulador de posición.

Una forma simple de obtener Q y R es:

$$Q = C' * C \quad \text{y} \quad R = 0.01 \quad (1.9.3)$$

Siendo C' la transpuesta de C .

Entonces se tiene que:

$$Q = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (1.9.4)$$

Los elementos de la diagonal en Q determinan el valor de la ponderación o importancia de cada uno de los estados del sistema, y en este caso se tiene una mayor ponderación en el ángulo θ y en la posición del carro x .

El algoritmo que se utilizará aplicando las funciones de MATLAB es:

$$k = \text{lqr}(A, B, Q, R)$$

$$A_c = [(A - B * k)]$$

$$B_c = [B]$$

(1.9.5)

$$C_c = [C]$$

$$D_c = [D]$$

Donde A_c , B_c , C_c , D_c son las matrices de control del sistema en lazo cerrado.

Por lo tanto sistema en lazo cerrado se define de la siguiente forma:

$$\dot{x} = A_c x + B_c f \quad (1.9.6)$$

1.2.4 CONDICIÓN DE CONMUTACIÓN O DE CAMBIO DEL CONTROL.

El control de energía es usado para balancear y levantar el péndulo a su posición superior. El regulador de posición LQR es usado para estabilizar el sistema cuando el péndulo está cerca de la posición vertical. Sin embargo no todas las condiciones de estado del sistema péndulo – carro serán estabilizadas por el regulador cuadrático lineal. Una condición de conmutación es necesaria para el cambio del control. Entonces, se definen regiones de funcionamiento para los dos controles; es así que el regulador de posición puede trabajar únicamente para valores de θ en los cuales el sistema se comporta en forma lineal, por lo tanto, una vez que el ángulo del péndulo iguale o supere este valor, el regulador esta en la posibilidad de capturar al péndulo para estabilizarlo.

Si el ángulo del péndulo es θ , se debe cumplir que:

$$\text{Sen}(\theta) \cong \theta \quad (1.9.7)$$

Entonces, el sistema tiene un comportamiento lineal, con lo cual se determina la región de trabajo para el regulador de posición.

Para ángulos menores que $\theta = 0.5585$ rad, se cumple la relación 1.9.7, y este valor se convierte en el ángulo límite para que se produzca el cambio de control.

Por lo tanto:

$$\theta = 0.5585 \text{ rad} = 32^\circ$$

determina la región de cambio en el control. Es decir que cuando el péndulo se encuentra con una desviación de la posición vertical menor que 32° , interviene el regulador de posición para capturar al péndulo y llevarlo a su posición vertical superior.

Por lo tanto en el programa de simulación será necesario implementar un observador o medidor para el ángulo del péndulo, quien indicará el momento en que se cambie de control.

Capítulo II

DESARROLLO DEL SOFTWARE

2. DESARROLLO DEL SOFTWARE

2.1 SIMULACIÓN EN MATLAB

La simulación dinámica de un sistema mecánico, eléctrico, electrónico, etc., viene siendo muy utilizada hoy en día, pues los resultados que se obtienen de estas simulaciones permiten reducir grandes costos de producción, entre sus beneficios.

Además, el avance tecnológico que se ha logrado tanto en software como en hardware permiten mejorar continuamente los tiempos de cálculo para la obtención de resultados mucho más precisos en tiempos más cortos.

Tomando como base todos estos aspectos, se plantea como hipótesis la obtención de un software que permita visualizar gráficamente el comportamiento del sistema mecánico compuesto por un péndulo acoplado a un carro. Para esto se realizó un análisis previo para decidir que lenguaje de programación utilizar, llegando a la conclusión de que el más conveniente es MATLAB por las siguientes razones:

- Es fácil de aprender y usar.
- Es potente, flexible y extensible, ya que permite tener una comunicación interactiva con otros programas.

- Es exacto y robusto.
- Ampliamente utilizado en ingeniería y ciencias.
- La interfaz gráfica con el usuario GUI (Gráfica User Interface) hace que un programa de simulación sea fácil de usar, permitiendo el análisis de sistemas en forma interactiva, teniendo el MATLAB las herramientas necesarias que facilitan el diseño de estas interfaces con el usuario.
- Posee herramientas o funciones (toolboxes) ya diseñadas que pueden ser aplicadas a sistemas de control, por lo tanto son de mucha ayuda en el análisis y simulación de estos sistemas.
- MATLAB trabaja esencialmente con matrices numéricas rectangulares, lo cual implica el uso de vectores fila o columna. Por esta razón este paquete tiene una proyección hacia el Control Moderno (descrito a variables de estado) y es útil para ilustrar las relaciones existentes entre las técnicas clásicas y modernas de análisis. Para ello, contiene un conjunto de rutinas de propósito general que permiten modelar, analizar y simular cualquier tipo de sistema dinámico.
- MATLAB es un sistema abierto, ya que el usuario puede editar sus propias funciones específicas, las mismas que son guardadas a manera de macros o programas denominados "archivos.m".

- Se puede obtener tiempos de respuesta cortos cuando se resuelven ecuaciones muy complejas, como ya se indicó.

2.2 DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DEL PROGRAMA.

Una interfaz gráfica de usuario está bien diseñada si responde a las siguientes preguntas:

- 1.- ¿Los usuarios saben en qué estado o punto de la simulación se encuentran?
- 2.- ¿Se comprende fácilmente cómo continuar o seguir con el proceso de simulación?

El software desarrollado en el presente proyecto responde a estas dos interrogantes; es así que la interfaz de usuario posee menús desplegables, textos fijos que indican en que estado o pantalla se encuentra el usuario, un menú de ayuda, el cual aparece en las pantallas de la simulación, botones que permiten acceder fácilmente a las diferentes operaciones y pantallas del programa; además, el ingreso de los parámetros físicos para un determinado péndulo se vuelve muy sencillo al tener acceso a casillas de texto editable diseñadas exclusivamente para este propósito.

El programa está dividido fundamentalmente en cuatro etapas, las cuales se encuentran relacionadas entre sí y se las puede clasificar de la siguiente manera:

- 1.- Presentación.
- 2.- Ingreso de parámetros.
- 3.- Cálculos y simulación gráfica.
- 4.- Presentación de resultados.

A continuación se detalla cada una de estas etapas:

1. **Presentación.-** Luego de que el usuario ingresa a MATLAB, es necesario correr el programa de simulación, mediante la instrucción correcta que debe ser escrita en la pantalla de comandos de MATLAB.

```
>> presentacion
```

La primera pantalla en aparecer es "PRESENTACION" (Figura 2.1.0), la cual corresponde a una carátula. Dentro de esta ventana existen dos botones, uno para salir del programa y retornar a MATLAB y otro para continuar con la simulación.



Figura 2.1.0. Pantalla de presentación del programa.

2. Ingreso de parámetros.- La segunda pantalla en aparecer permite el ingreso de los parámetro físicos para la simulación del péndulo; por esta razón, el título de la pantalla es "INGRESO DE DATOS" (Fig. 2.1.1).

Archivo : Opciones : Ayuda

DATOS DEL SISTEMA

Masa del Péndulo: Kg Masa del Carro: Kg Longitud del Péndulo: m

Aceleración de la Gravedad: m/s² Energía deseada (Máx. mgl): J

CONDICIONES INICIALES

Posición Angular: θ : Grados
 Velocidad Angular: ω : rad/s
 Posición del Carro: X_c : m
 Velocidad del Carro: V_c : m/s

Control de Energía
 Regulador de Posición
 Control Híbrido

Tiempo de simulación: s

< Salir > Reset << Atras Cont >>

Figura 2.1.1 Pantalla para ingreso de datos.

Como se observa en la figura 2.1.1, esta ventana permite ingresar los datos correspondientes a la masa del péndulo, longitud del péndulo, masa del carro, condiciones iniciales del sistema, aceleración de la gravedad, energía deseada y tiempo de simulación. Las casillas seleccionables a la derecha permiten elegir el tipo de control que se desea simular, esto es:

Regulador de Posición.- El péndulo será llevado a su posición vertical superior ($\theta = 0$) desde un ángulo inicial, el cual será siempre

menor que 32° , ya que éste regulador es lineal y por lo tanto tiene una región de trabajo limitada.

Control de Energía.- Se simulará sólo el balanceo del péndulo mediante el control de energía implementado.

Control Híbrido.- La simulación desarrollará los dos controles tanto el de energía como el regulador de posición.

La pantalla de ingreso de datos para la simulación contiene valores por defecto, los cuales corresponden a un péndulo real establecido. Estos datos se utilizarán como un ejemplo para la simulación de los controles en el siguiente capítulo.

De igual forma que en la pantalla de presentación existe botones y menus desplegables que permiten realizar determinadas funciones en el programa; las cuales se explican en forma detallada en el Anexo A de este trabajo.

En caso de que algún valor ingresado en esta pantalla esté incorrecto, aparecerá una pequeña ventana (Figura 2.1.3) que indica cual es el error que se ha cometido y pedirá ingresar nuevamente todos los datos en forma correcta.

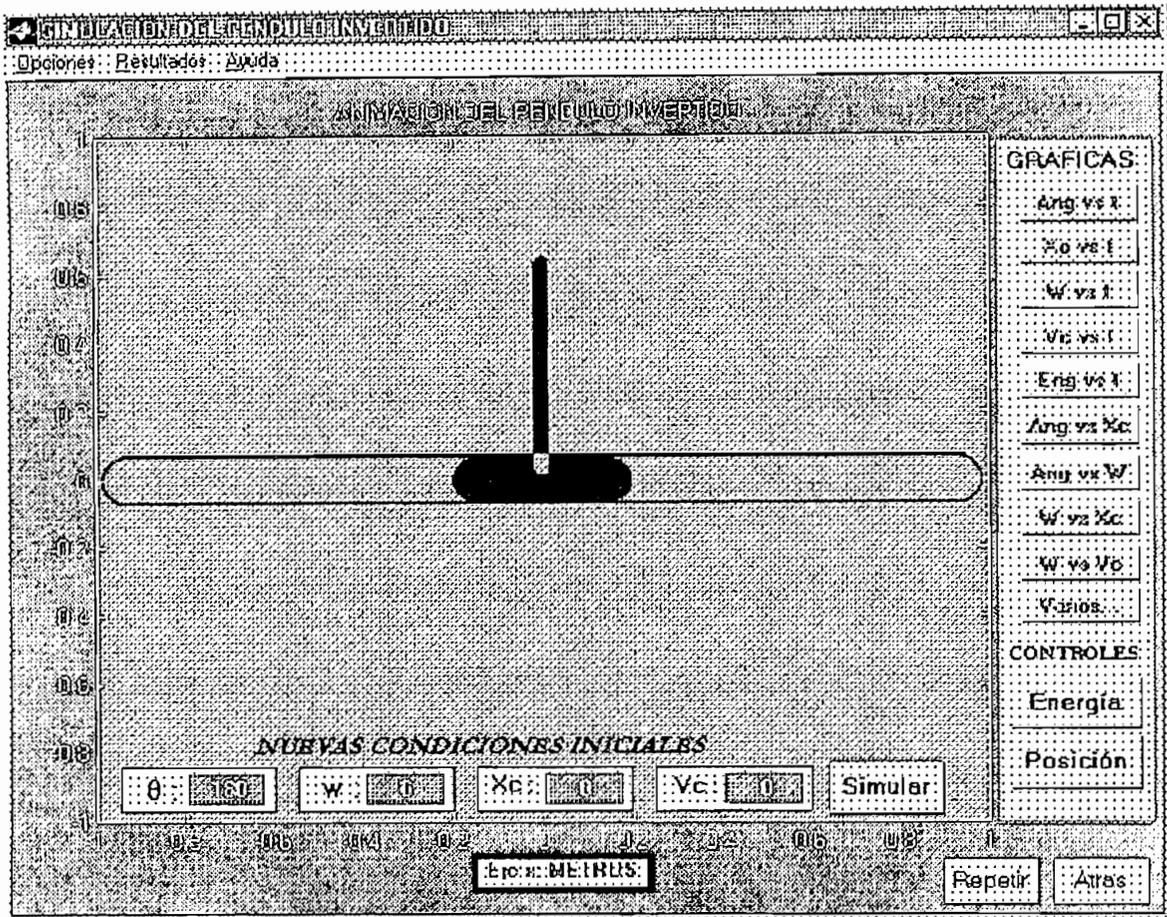


Fig. 2.1.5 Pantalla de visualización de la simulación.

Luego del tiempo que utiliza el software para hacer los cálculos respectivos, aparecerá en pantalla el sistema péndulo – carro animado con movimientos de vaivén horizontales, cuyo comportamiento depende del tipo de control que se haya escogido.

4. **Presentación de resultados.-** Son ventanas (Figura 2.1.6) que aparecen sobre la pantalla de simulación y presentan gráficas en donde se pueden observar los diferentes resultados de la simulación, con sus escalas respectivas.

En la parte inferior de la pantalla existe un botón para cerrar esta ventana y retornar a la pantalla de simulación.

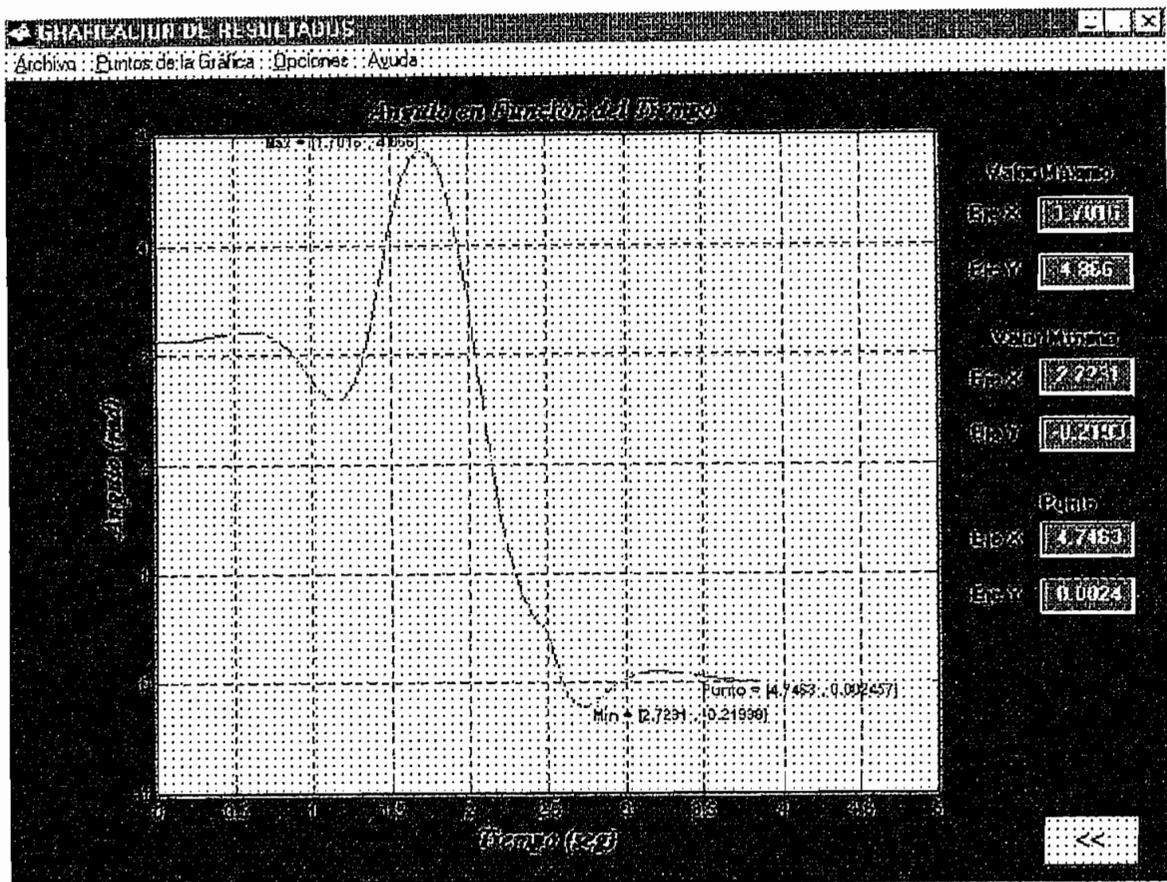


Figura 2.1.6 Pantalla de presentación de resultados.

Para obtener varios gráficos en una misma pantalla, existe la ventana "Opciones de Graficación" (Figura 2.1.7), en la cual el usuario puede escoger los gráficos que desee observar al mismo tiempo; esto permitirá hacer una comparación de los resultados de la simulación.

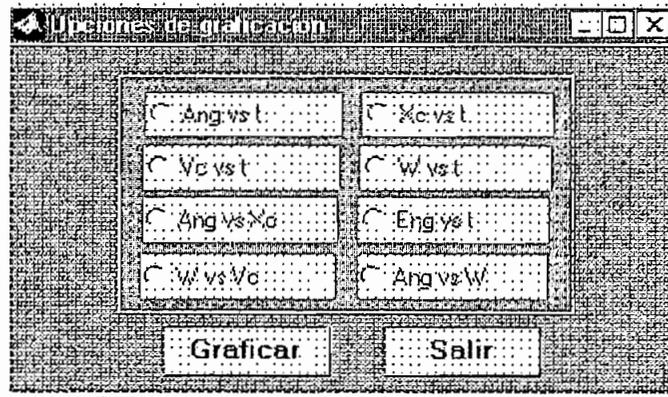


Figura 2.1.7 Pantalla Opciones de Graficación.

2.3 ANÁLISIS DE LOS ARCHIVOS.M UTILIZADOS.

En esta sección se indican de los archivos.m más importantes generados en MATLAB, en forma ordenada, desde el primero en ejecutarse hasta el último, además se analizan las funciones que cumplen dentro del programa desarrollado (El listado completo consta en el Anexo C).

presentacion.m

Este archivo permite generar la primera pantalla en aparecer (Figura 2.1.0).

Dentro de este archivo se generan textos fijos por medio de los cuales se hace una presentación del programa; título, autor, etc., y un gráfico del péndulo que introduce al usuario en el tema del proyecto.

pendulo .m

Al ejecutarse este archivo, aparece la segunda pantalla del programa (Figura 2.1.1). Esta pantalla permite el ingreso de los datos para la simulación:

características físicas del péndulo, condiciones iniciales para la simulación y permite escoger el tipo de control que se quiere simular.

datos.m

Mediante este archivo se adquieren los datos que ingresó el usuario y se los almacena en variables para que se puedan recuperar en otros archivos del programa.

Dentro de este archivo, también existen las restricciones necesarias para el ingreso de datos, con lo cual no se permite que el usuario digite mediante el teclado valores que estén fuera de lo real. Si existe un dato erróneo se genera la pantalla de error (Figura 2.1.3).

algoritmo.m

En primera instancia genera la pantalla de espera (Figura 2.1.4), mientras se realizan todos los cálculos y se resuelven las ecuaciones necesarias para obtener los resultados de la simulación.

Dentro de este archivo se recurre a `ecua.m` que se describe a continuación.

ecua.m

En este archivo se encuentran los dos sistemas de ecuaciones diferenciales que deben ser resueltos, tanto para el control de energía como para el regulador de posición.

simula.m

Esta pantalla (Figura 2.1.5), cuyo título es "SIMULACIÓN DEL PENDULO INVERTIDO", se utiliza como ventana para visualizar la animación gráfica del péndulo.

Además, en este archivo se generan botones que permiten obtener los diferentes gráficos de los resultados.

Dentro de esta misma pantalla se puede repetir la simulación o simular el mismo péndulo para diferentes condiciones iniciales que pueden ser ingresadas por el usuario.

La barra de menús presenta opciones que pueden ser utilizadas para visualizar los resultados en forma gráfica, obtener una ayuda en línea, etc.

corresim.m

Este archivo está relacionado con `simula.m`, ya que se ejecuta uno a continuación del otro y permite realizar la graficación del péndulo para observar su animación y movimiento.

Además de los archivos principales antes detallados, existen otros. Los cuales se ejecutan en forma secundaria dentro del programa y que se describen a continuación:

graficacion.m

Una vez realizada la simulación, este archivo presenta pantallas con los gráficos de los resultados obtenidos.

maximo.m

Una vez que se obtienen los gráficos de los resultados, mediante el archivo `graficacion.m`, `maximo.m` permite visualizar las coordenadas $[x,y]$ del punto máximo del gráfico.

minimo.m

De igual forma que `maximo.m`, este archivo permite obtener las coordenadas $[x,y]$ del punto mínimo del gráfico.

ubicar.m

Este archivo permite al usuario obtener las coordenadas $[x,y]$ de cualquier punto del gráfico.

escoger.m

Mediante este archivo se genera la pantalla "OPCIONES DE GRAFICACIÓN" (Figura 2.1.7) y se pueden escoger varios gráficos para observar los resultados.

varios1.m

Permite revisar cual o cuales fueron los gráficos escogidos por el usuario en la pantalla "OPCIONES DE GRAFICACIÓN" (Figura 2.1.7).

cambio.m

Permite adquirir las nuevas condiciones iniciales ingresadas en la pantalla de "SIMULACIÓN DEL PÉNDULO INVERTIDO" (Figura 2.1.5), para una nueva simulación.

repetir.m

Repite la animación gráfica del péndulo sobre la pantalla "SIMULACION DEL PENDULO INVERTIDO" (Figura 2.1.5).

chequeo.m

Este archivo permite revisar si el usuario escogió la opción "Control de Energía" en la pantalla de ingreso de datos (Figura 2.1.1).

chequeo1.m

Revisa si el usuario escogió la opción "Regulador de Posición", en la pantalla de ingreso de datos (Figura 2.1.1).

chequeo2.m

Al igual que los dos archivos anteriores, éste permite revisar si la opción escogida en la pantalla de ingreso de datos (Figura 2.1.1) es "Control Híbrido".

guardar.m

Permite almacenar en un archivo los valores que el usuario ha ingresado en la pantalla de datos (Figura 2.1.1).

abrir.m

Mediante este archivo se pueden recuperar los valores guardados para un péndulo determinado.

ayuda.m

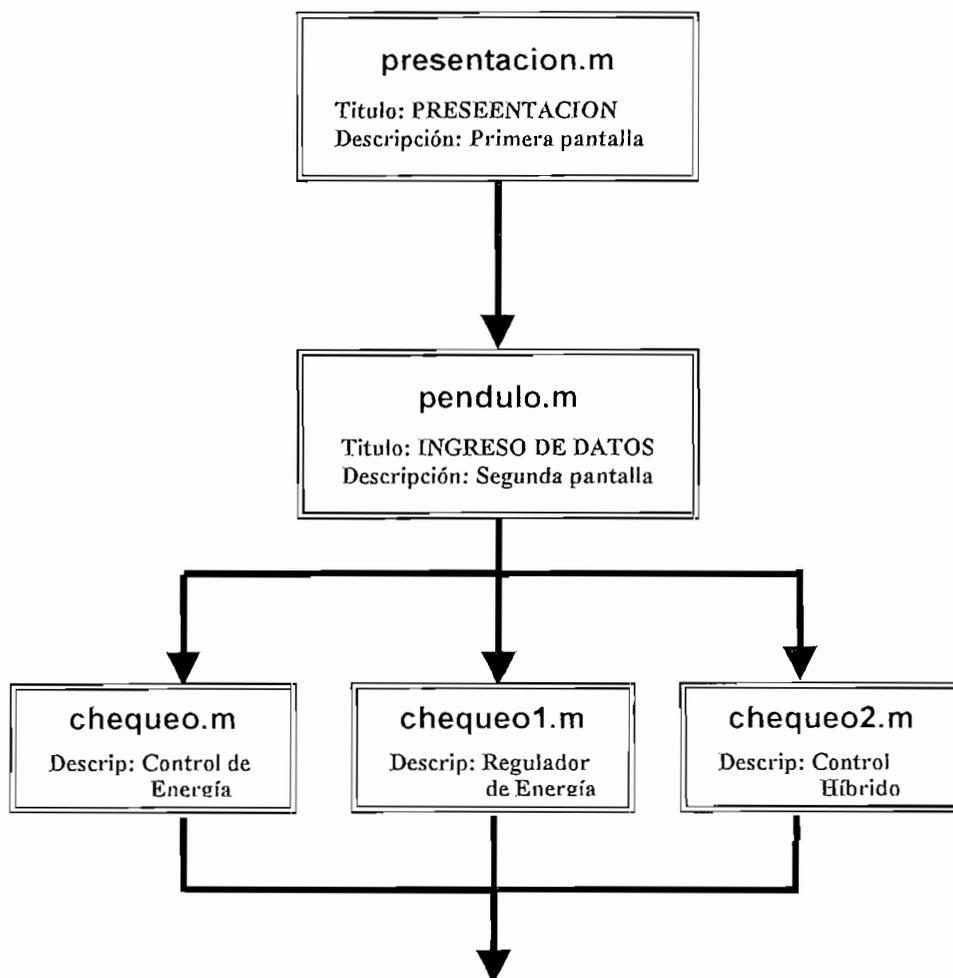
Genera una pantalla donde se detalla la ayuda en línea del programa para el usuario.

acerca.m

Permite generar una pantalla con toda la información acerca del programa desarrollado.

2.3.1 DIAGRAMA DE DISTRIBUCIÓN DE LOS ARCHIVOS.M

En el siguiente esquema (figura 2.1.8), se muestra la distribución de los archivos.m principales del programa, de acuerdo al flujo de la información cuando éste se ejecuta empezando desde la pantalla de presentación.



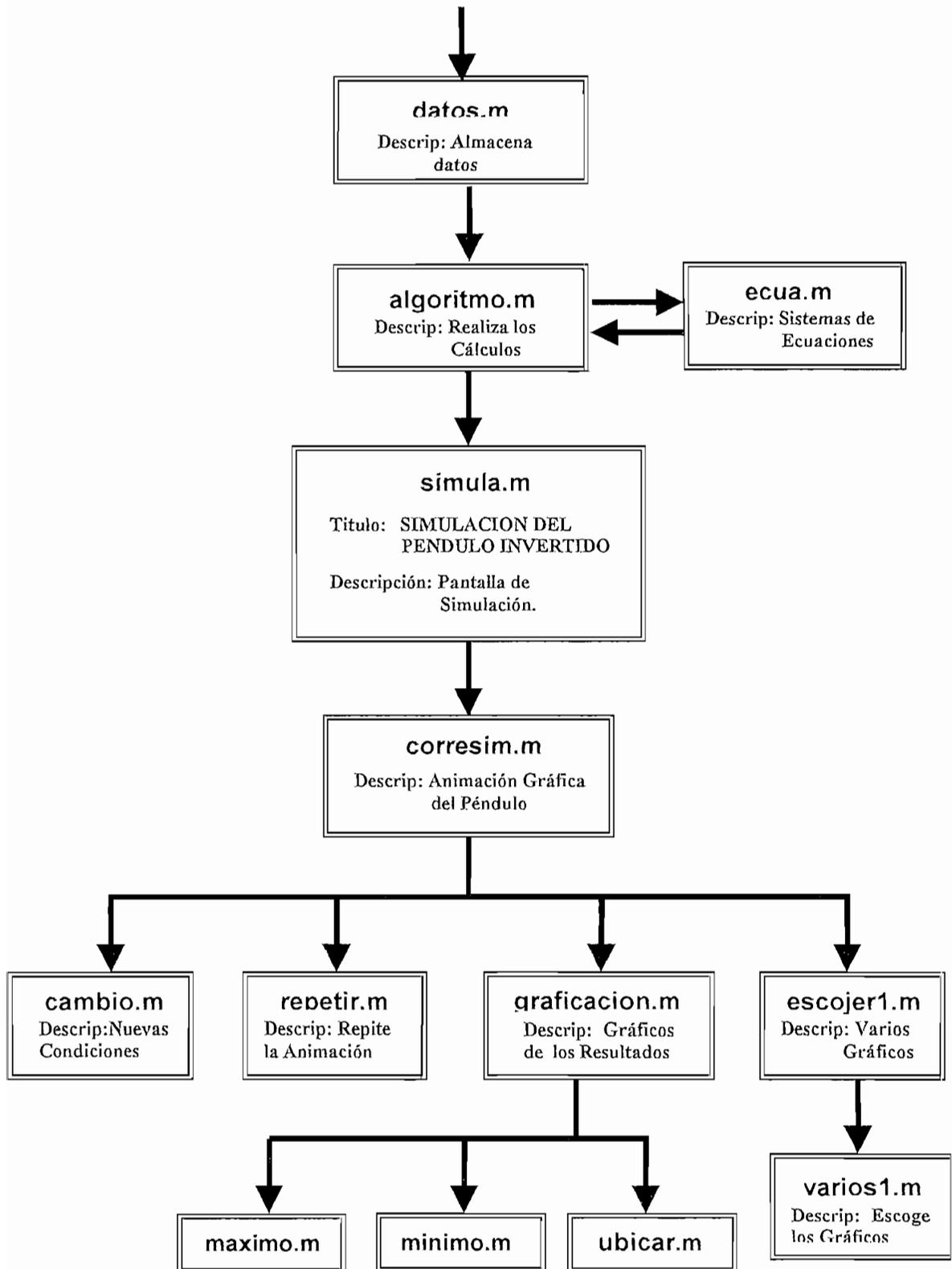


Figura 2.1.8 Esquema de distribución de los ARCHIVOS.M

2.4 FUNCIONES UTILIZADAS.

A fin de tener la información de manera más completa, se listan las principales funciones utilizadas en el desarrollo del software, descritas en forma resumida, pues una información más completa la puede proporcionar la ayuda en línea de MATLAB, son las siguientes:

abs

Calcula el valor absoluto o magnitud de un número real o complejo

axes

Crea un cuadro para gráficos. Abre un eje en un punto especificado dentro de una ventana de figura. La verdadera utilidad de este comando radica en que puede abrir múltiples ejes en posiciones selectas.

axis

Controla la escala de los ejes de una gráfica, permitiendo ajustar los límites de la misma.

break

Este comando permite romper o salir de un lazo for o while (lazo de repetición).

close all

Cierra la pantalla activa del programa.

cos

Calcula el coseno de un ángulo expresado en radianes

drawnow

Este comando permite borrar y actualizar continuamente un gráfico, esto hace que parezca que un gráfico tuviese movimiento o animación.

elseif

Este comando ejecuta instrucciones condicionales. Es una cláusula opcional de la instrucción `if`

end

Se usa para terminar las instrucciones `for`, `while`, `switch`, `try`, e `if`.

figure

Con este comando se pueden abrir diferentes ventanas de gráficos. Este tipo de objetos son ventanas individuales en la pantalla las cuales despliega MATLAB en un entorno gráfico.

findobj

Localiza objetos gráficos y devuelve su valor en forma gráfica, se puede limitar la búsqueda a propiedades particulares del objeto.

eval

Ejecuta una expresión válida de MATLAB, esta expresión es de tipo "string"; se utiliza para recuperar los valores de los cuadros de texto como valores de tipo screen.

for

Genera un lazo de repetición.

function

Se añaden nuevas funciones de MATLAB hechas por el usuario, estas funciones se guardan en archivos con extensión .m.

get

`get(h,'nombre_propiedad')` devuelve el valor de la propiedad '`nombre_propiedad`' del objeto gráfico identificado por `h`

hold on

Al generar un gráfico, `hold on` retiene el gráfico actual y añade los gráficos subsecuentes al existente.

if

Prueba una expresión lógica.

imread

Este comando permite adquirir y almacenar los datos de una figura con formato de gráfico (bmp, tif, jpg, html). Los datos se almacena en arreglos matriciales, los cuales pueden ser recuperados para presentar la imagen en una pantalla o ventana.

Image

Esta instrucción sirve para graficar la imagen almacenada mediante *imread* en la pantalla o ventana deseada.

length

Determina el número de elementos de un vector columna.

load

Recupera todas las variables guardadas por save.

max

Determina el máximo elemento de un vector o da como resultado un vector fila cuyos valores son los máximos de las columnas de una matriz

ode45

Resuelve ecuaciones diferenciales, solución Runge-Kutta de cuarto y quinto orden.

plot

Genera una gráfica xy lineal

save

Graba las variables utilizadas en el programa que está ejecutándose. Estas pueden ser recuperadas en otras aplicaciones.

set

Setea propiedades de un objeto a los valores especificados por el programador.

sin

Calcula el seno de un ángulo expresado en radianes.

size

Determina las dimensiones de filas y columnas de un vector o una matriz.

text

Crea un texto dentro de un entorno gráfico.

title

Agrega un título en la parte superior central de una gráfica.

tspan

Argumento de la función Ode45; es un vector que especifica el intervalo de integración.

uicontextmenu

Crea un menú de contexto, el cual aparece cuando el usuario hace un click derecho en un objeto gráfico.

uicontrol

Crea un objeto de control de la interfaz de usuario. Muchos de estos objetos tienen una función predefinida.

uimenu

Crea una jerarquía de menús y submenús que se muestran en la barra de menús de la ventana.

xlabel

Agrega una leyenda al eje x de una gráfica.

ylabel

Agrega una leyenda al eje y de una gráfica.

zeros

Genera una matriz de ceros de orden determinado por el usuario

Capítulo III

SIMULACIONES Y RESULTADOS

Se realizaron numerosas simulaciones para definir los valores de las constantes utilizadas en el control de energía (Ecuación 1.6.3), de las que se muestran solo dos.

La primera simulación realizada se indica en la figura 3.1.0, en la cual $K = 1$, $\omega_c = 1$ y $H_D = 1.2$; además, la energía inicial del péndulo se considera igual a 0.9.

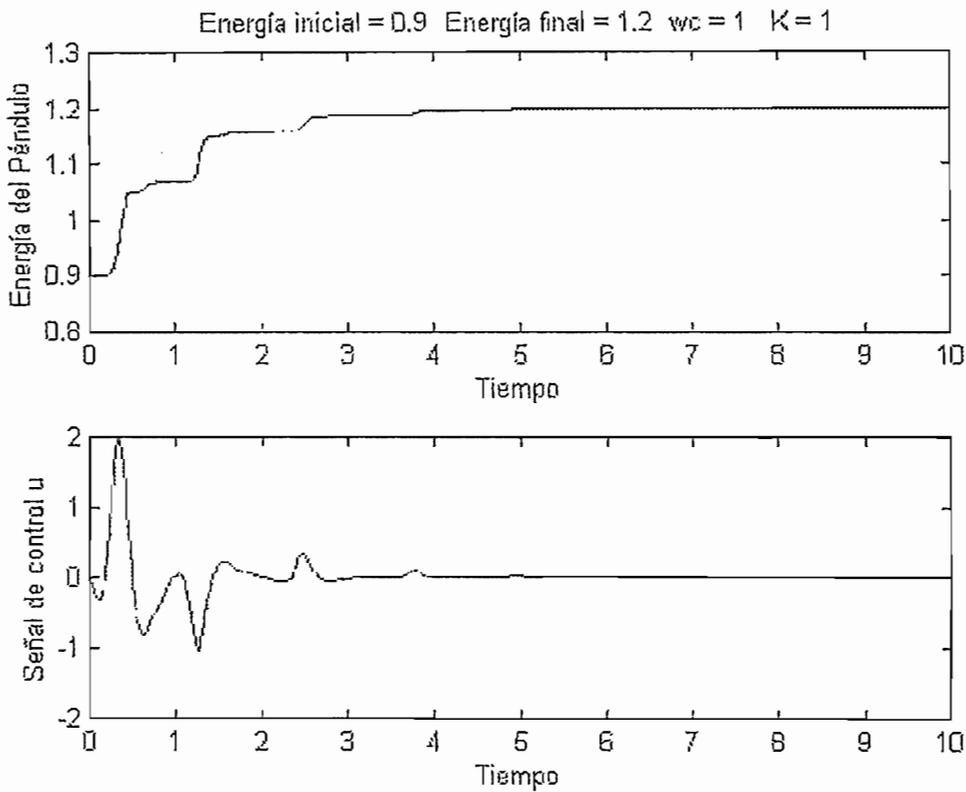


Figura 3.1.0 Primera simulación para el control de energía.

Como se puede ver en la figura 3.1.0, la respuesta de energía del péndulo no es óptima ya que le toma mucho tiempo alcanzar el valor deseado de energía (1.2 J), por otro lado se puede ver el funcionamiento del control ya que la señal u de control solo actúa por el tiempo que le toma al péndulo alcanzar la energía final.

Entonces, es necesario simular nuevamente el sistema para otro valor de ganancia, si $K = 2$ y $\omega_c = 1$, se tiene una mayor ganancia para la señal de

3.- SIMULACIONES Y RESULTADOS

3.1. SIMULACIÓN PARA EL AJUSTE DE LOS CONTROLES IMPLEMENTADOS.

Con la finalidad de comprobar la validez de los resultados matemáticos obtenidos en el primer capítulo (Controles), y para poder hacer las calibraciones o ajustes respectivos en los controles desarrollados, se realiza la simulación para un péndulo determinado.

Se utiliza como ejemplo el péndulo que aparece por defecto en la pantalla de ingreso de datos (Figura 2.1.1), cuyos valores o parámetros son tomados de un ejemplo real, el cual tiene las siguientes características:

Masa del carro	$M = 0.5 \text{ Kg.}$	
Masa del péndulo	$m = 0.2 \text{ Kg.}$	
Longitud total del péndulo	$l_p = 0.6 \text{ m}$	(3.1.0)
Aceleración de la gravedad	$g = 9.8 \text{ m/s}^2$	
Energía inicial	$H_o = 0.9$	
Energía deseada	$H_D = 1.2$	

3.1.1 CONTROL DE ENERGÍA.

El algoritmo desarrollado en MATLAB para la simulación del control de energía se muestra en el Anexo B1 , y se utiliza como señal de control la relación 1.6.3 obtenida en el primer capítulo.

control y por lo tanto los tiempos de respuesta disminuyen, estos valores se reemplazan en el algoritmo utilizado (Anexo B1), con lo que se tiene el gráfico de la figura 3.1.1.

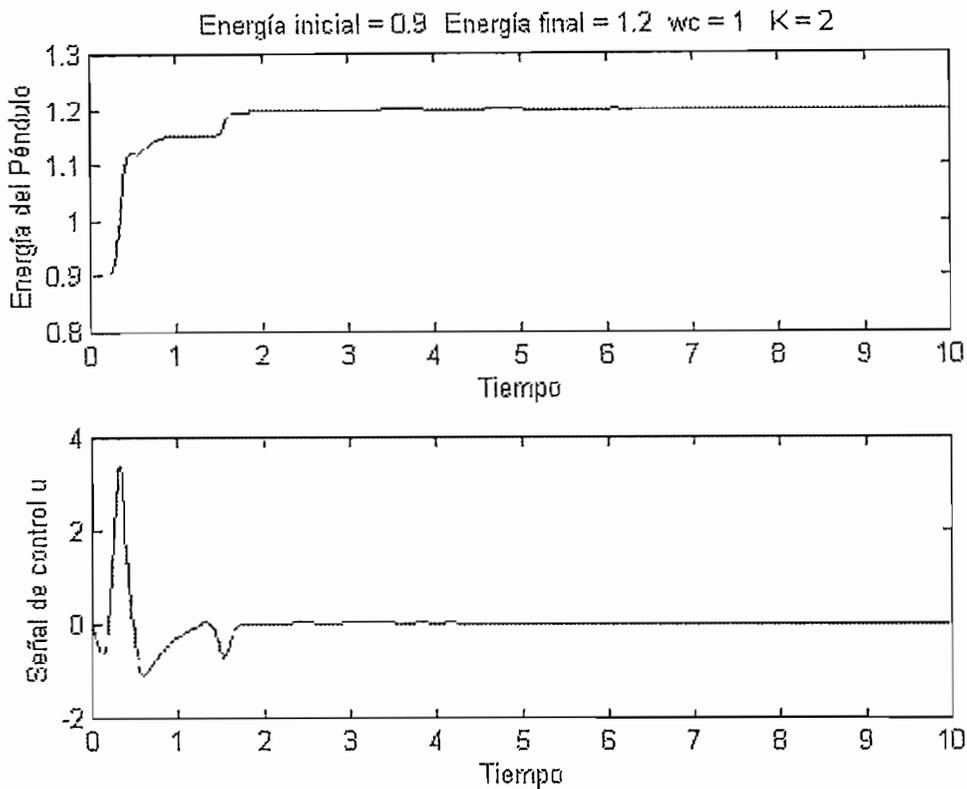


Figura 3.1.1 Segunda simulación para el control de energía.

Al analizar la simulación (Figura 3.1.1) se ve que la respuesta de energía mejora notablemente, es mucho más estable y converge más rápido al valor de energía deseado.

El resultado obtenido en la figura 3.1.1, es aquel en el cual el controlador ha alcanzado el funcionamiento más adecuado, pues el tiempo de convergencia es de los menores conseguidos y la amplitud de la señal de control se mantiene en valores menores.

Por lo tanto, el control de energía queda establecido de la siguiente forma:

$$u = 2 x_2 \text{Cos } x_1 E - (2 x_4 + x_3) \quad (3.1.1)$$

3.1.2 REGULADOR DE POSICIÓN.

De igual manera que para el control de energía, en el regulador de posición también es posible comprobar su funcionamiento, para esto se puede simular el sistema del ejemplo 3.1.0.

Reemplazando los datos de este péndulo (Ejemplo 3.1.0) en las matrices 1.8.6 y 1.8.7 se tiene:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 45.733 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ -3.920 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.1.2)$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ -6.666 \\ 0 \\ 2.00 \end{bmatrix} \quad (3.1.3)$$

En la simulación de este sistema se obtiene una respuesta a una entrada paso por medio del algoritmo presentado en el Anexo B2 el cual se implementó en MATLAB.

El gráfico del ángulo y de la posición del carro en función del tiempo que se obtiene como respuesta es el siguiente:

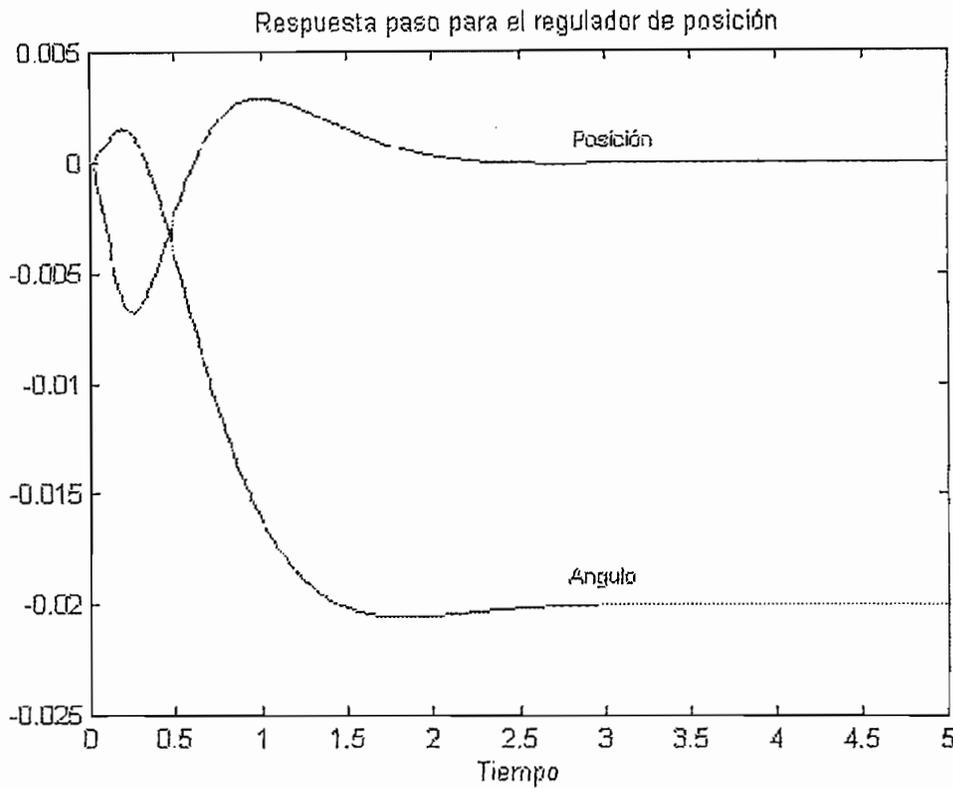


Figura 3.1.2 Respuesta a una entrada paso

Se procedió a probar el efecto que causa la variación en los parámetros de la matriz de ponderación Q , obteniendo mejores resultados y con menores tiempos de establecimiento al aumentar los valores en la diagonal de la matriz. De tal forma que para la matriz Q que se presenta a continuación se obtienen los mejores resultados.

$$Q = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 10 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.1.4)$$

Se puede mencionar también que al poner una ponderación alta en esta matriz Q para la posición del carro, se toma en cuenta la longitud de la trayectoria para el movimiento horizontal, ya que ésta no debe ser muy grande y en la práctica es limitada.

Uno de los mejores resultados obtenidos es el que se presenta a continuación, en el cual se utiliza el mismo algoritmo de simulación (Anexo B2), pero ahora con la matriz 3.1.4 para Q.

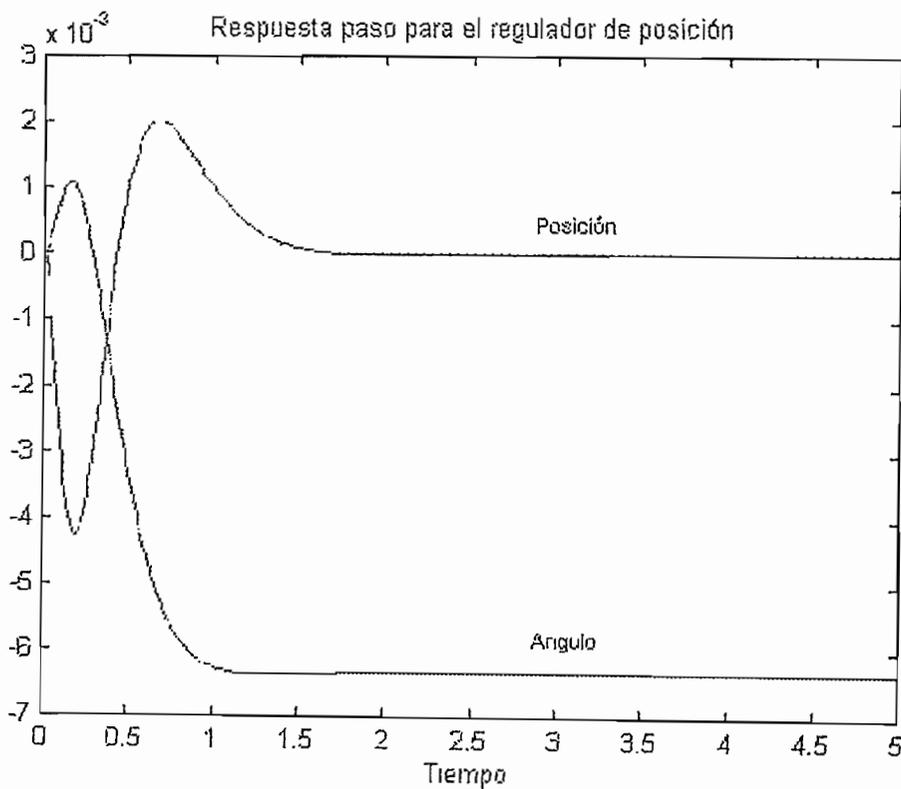


Figura 3.1.3 Respuesta a una entrada paso

Con la respuesta obtenida se puede garantizar que el L.Q.R. implementado funciona correctamente y dentro de parámetros normales, ya que el tiempo de establecimiento se mantiene menor que uno, el sobreimpulso existente es muy pequeño y el error en estado estable es casi cero.

3.2 EJEMPLOS DE SIMULACIÓN Y RESULTADOS.

A continuación se presentan los resultados obtenidos para un ejemplo demostrativo simulado, mediante el cual se puede apreciar las características de funcionamiento de los controles y su comportamiento frente a diferentes condiciones iniciales.

Con el fin de resumir los resultados, solo se indican los gráficos más importantes, y ya que se tiene un número muy grande de posibles combinaciones para las condiciones iniciales, solo se utilizan las características más relevantes para el funcionamiento del péndulo. Si se desea una mayor información se debe recurrir al programa desarrollado en este proyecto.

Se simula el sistema péndulo—carro con los tres controles implementados, cada uno para diferentes condiciones iniciales.

Se considera el ejemplo 3.1.5 para la simulación, ya que es el que aparece por defecto en la pantalla "Ingreso de Datos" (Figura 2.1.1) del programa y; además, sus valores o parámetros son tomados de un ejemplo real; y son:

Masa del carro	$M = 0.5 \text{ Kg.}$	
Masa del péndulo	$m = 0.2 \text{ Kg.}$	(3.1.5)
Longitud total del péndulo	$l_p = 0.6 \text{ m}$	

3.2.1 REGULADOR DE POSICIÓN.

Como ya se anotó en el primer capítulo, el regulador de posición tiene un determinado rango de trabajo, el cual está limitado a ángulos menores que 32° ; por lo tanto, en las condiciones iniciales se toma en cuenta esta característica.

Debido a que el regulador de posición implementado no tiene un funcionamiento crítico en este proyecto, solo se realiza la simulación para dos condiciones iniciales.

Simulación para la primera condición inicial:

Posición angular inicial de la barra = 31.99°

Velocidad angular inicial de la barra = 0 rad/s

Posición inicial del carro = 0 m

Velocidad inicial del carro = 0 m/s

Además se considera los siguientes parámetros:

Aceleración de la gravedad = 9.8 m/s^2

Tiempo de simulación = 5 s .

Los resultados se muestran en las figuras 3.1.4 a la 3.2.0:

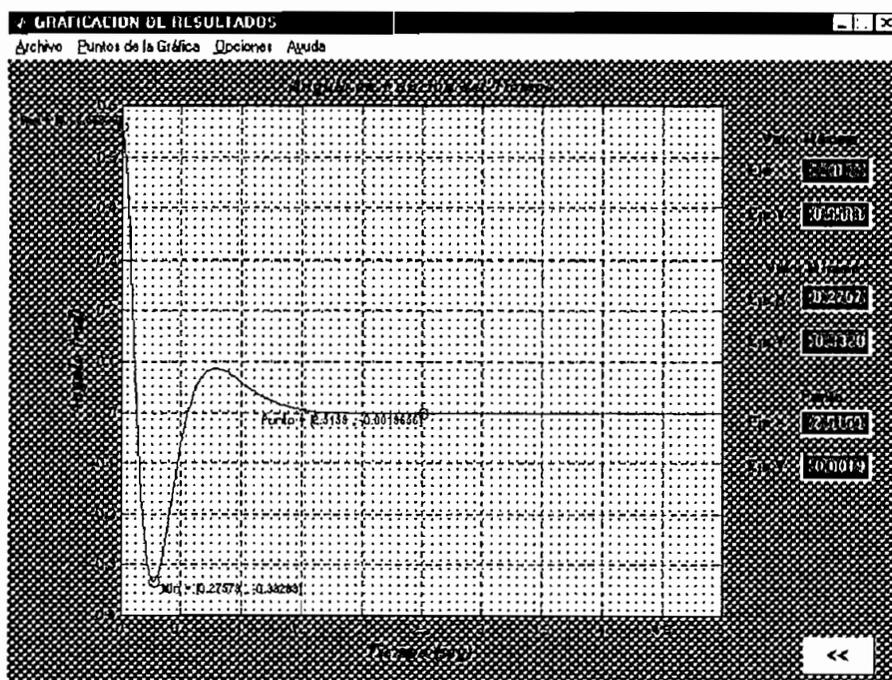


Figura 3.1.4 Angulo vs. Tiempo (Regulador de Posición).

En esta primera simulación se considera una desviación para el ángulo inicial máxima, tomando en cuenta la característica lineal del regulador. En la figura 3.1.4, se tiene la respuesta del ángulo, en donde se observa un tiempo de estabilización muy bajo (1.7 segundos), con lo cual se confirma la bondad del regulador cuadrático lineal implementado.

A continuación se indican los resultados obtenidos para la velocidad angular (Figura 3.1.5), posición del carro (Figura 3.1.6) y velocidad del carro (Figura 3.1.7), en donde se puede observar la estabilización en cero de todos estos parámetros.

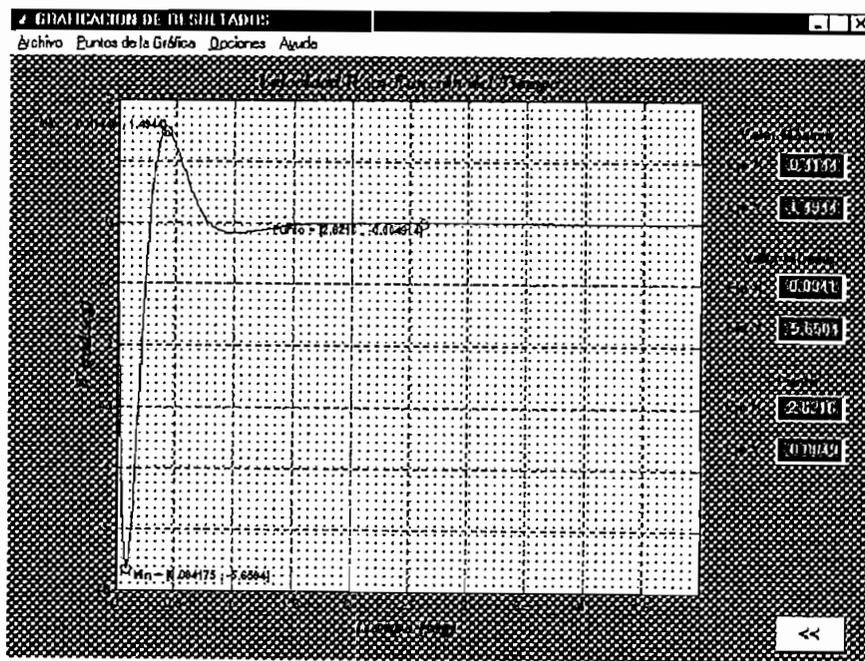


Figura 3.1.5 Velocidad Angular vs. Tiempo (Regulador de Posición).

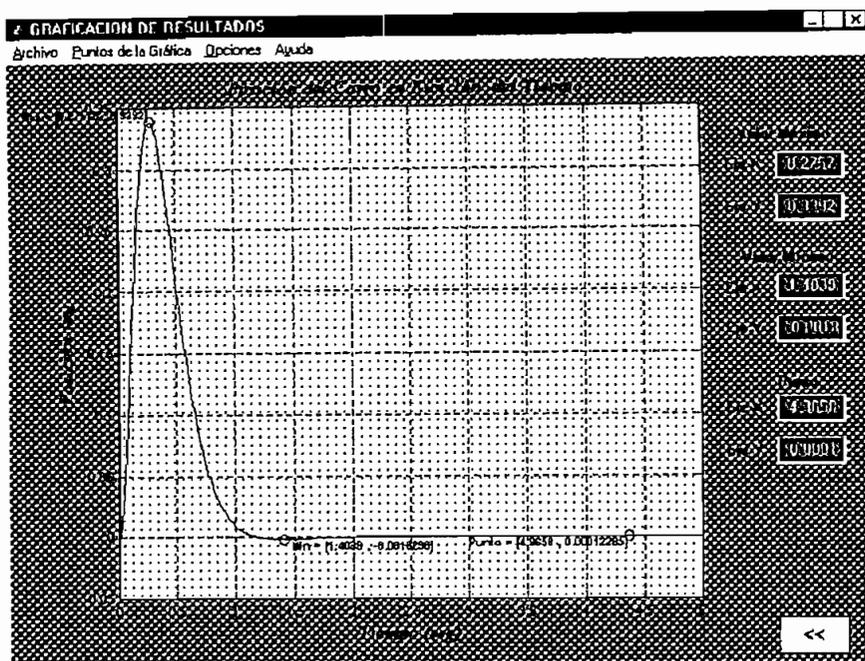


Figura 3.1.6 Posición del Carro vs. Tiempo (Regulador de Posición).

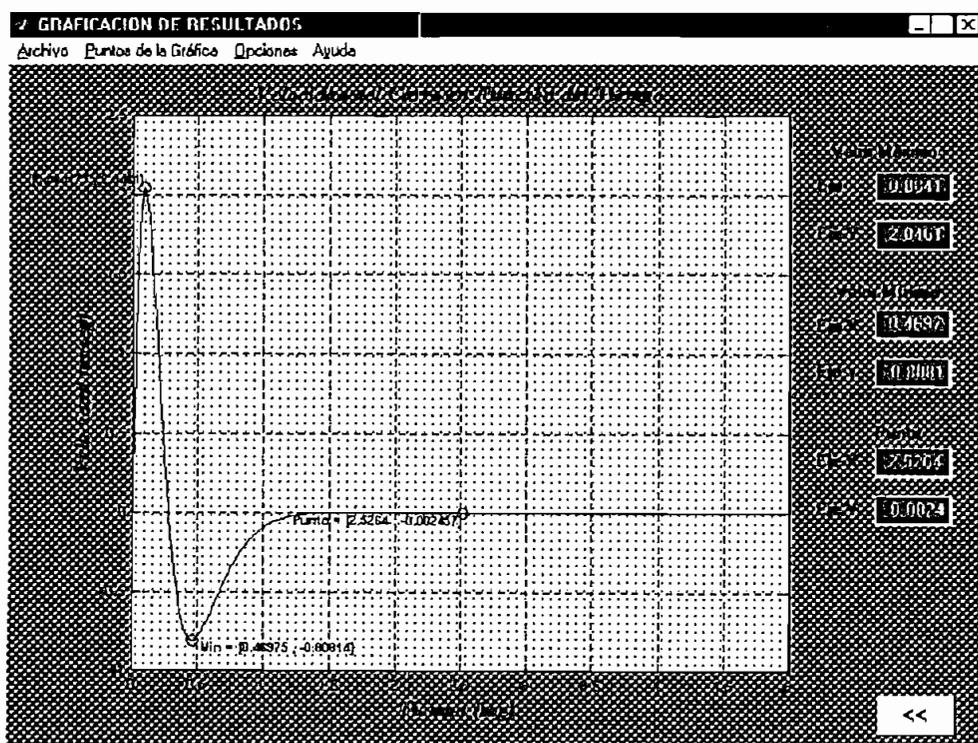


Figura 3.1.7 Velocidad del Carro vs. Tiempo (Regulador de Posición).

La figura 3.1.8 presenta la gráfica de la energía en función del tiempo, en la cual se observa su valor final de estabilización en la posición vertical superior, correspondiente a la energía máxima deseada que se utilizará más tarde en el control de energía.

Además, se indica también la gráfica de la señal de control para el regulador de posición implementado (Figura 3.1.9), en la cual se puede observar si la fuerza aplicada al carro es positiva o negativa, de acuerdo a la posición que tiene el péndulo.

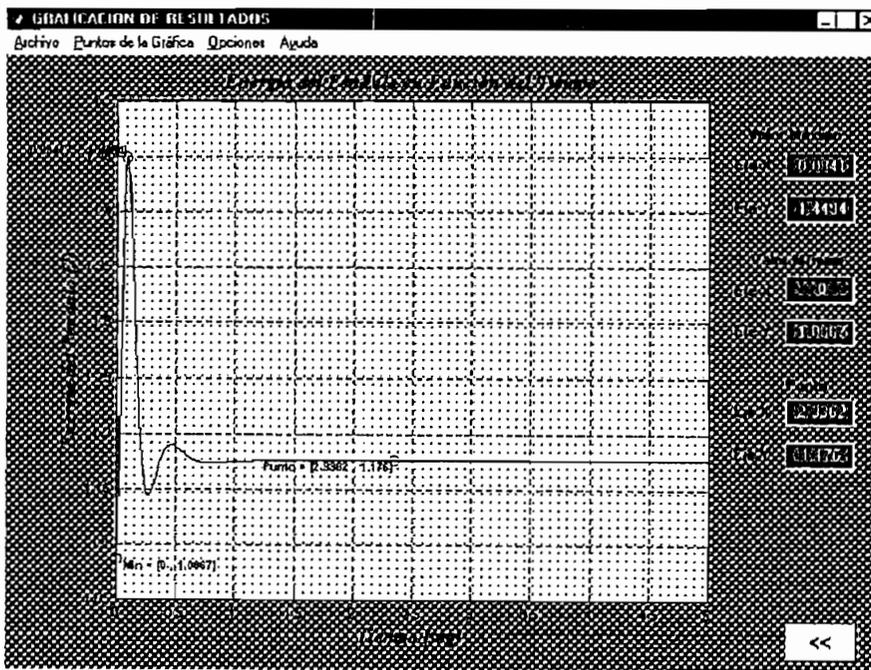


Figura 3.1.8 Energía del Péndulo vs. Tiempo (Regulador de Posición).

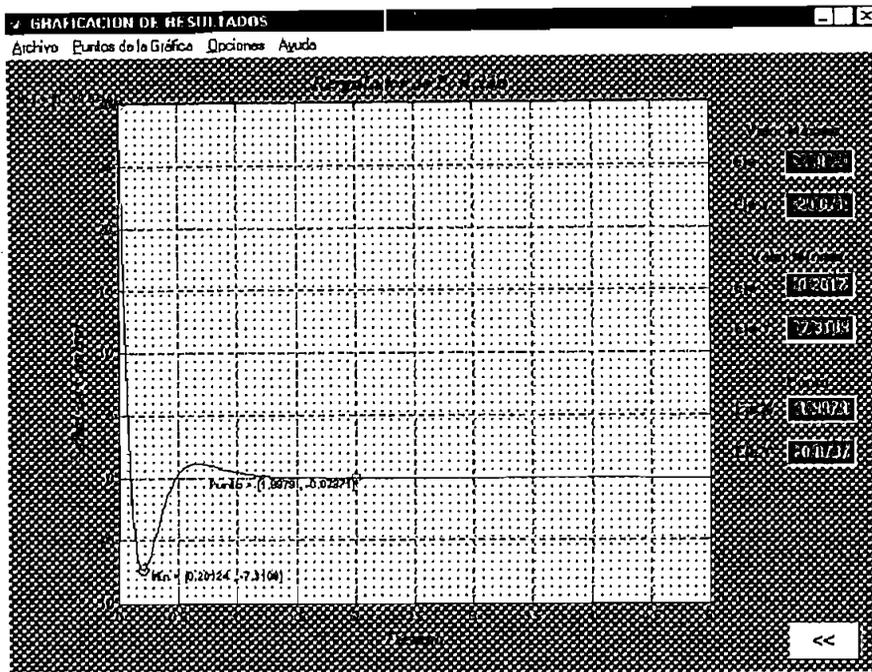


Figura 3.1.9 Señal de Control (Regulador de Posición).

De igual forma, la figura 3.2.0 indica la trayectoria de fase más importante para el sistema péndulo-carro, ya que se puede ver como el sistema parte de cualquier condición inicial que esté dentro de la región de trabajo del regulador y tiende al estado de equilibrio (posición vertical superior).

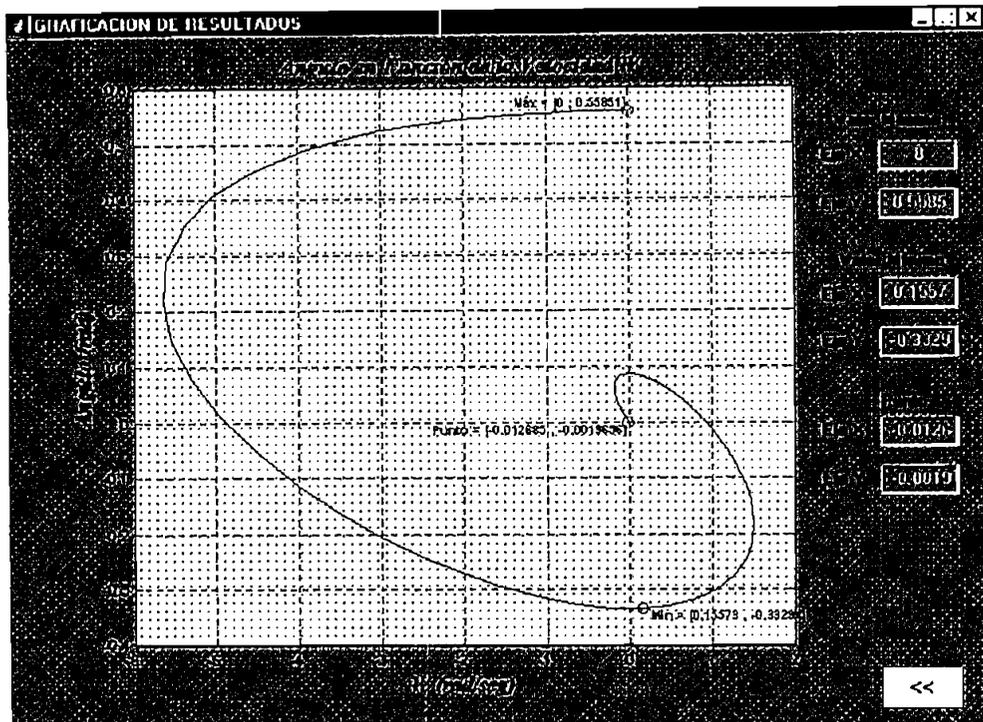


Figura 3.2.0 Trayectoria de Fase: Angulo vs. Velocidad Angular (Regulador de Posición).

Simulación para la segunda condición inicial:

- Posición angular inicial de la barra = -25°
- Velocidad angular inicial de la barra = 0.5 rad/s
- Posición inicial del carro = 0.2 m
- Velocidad inicial del carro = -0.1 m/s

Además se consideran los siguientes parámetros:

- Aceleración de la gravedad = 9.8 m/s^2
- Tiempo de simulación = 5 s .

En esta segunda simulación se consideran todos los valores diferentes de cero, e incluso, se toman en cuenta valores negativos para el ángulo y la velocidad del carro. Con esto se consiguen los siguientes resultados.

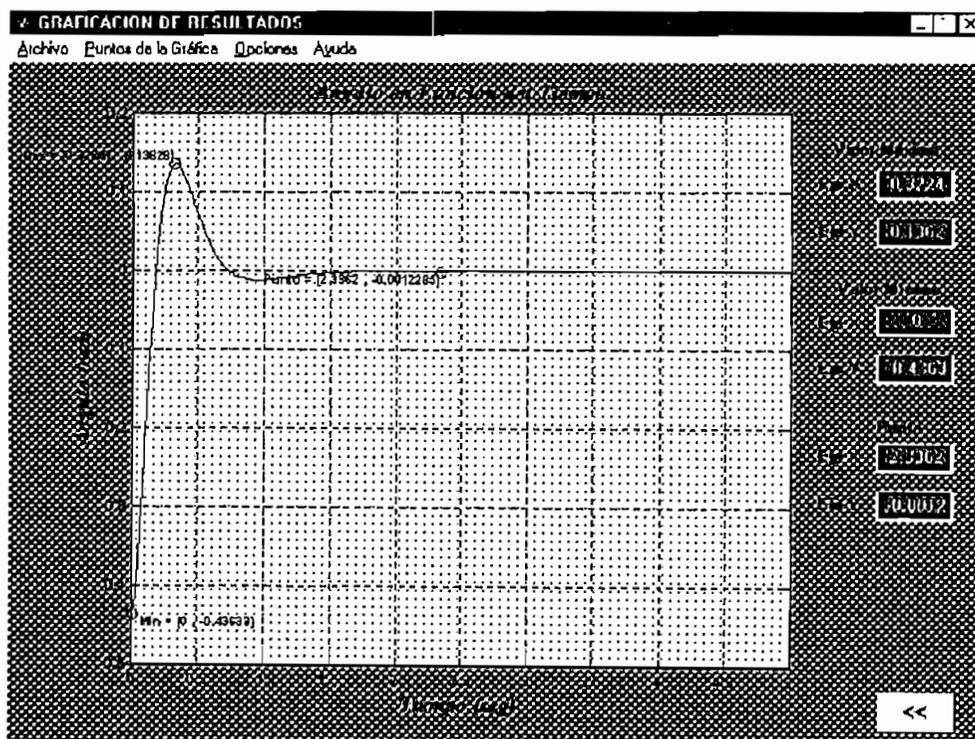


Figura 3.2.1 Angulo vs. Tiempo (Regulador de Posición).

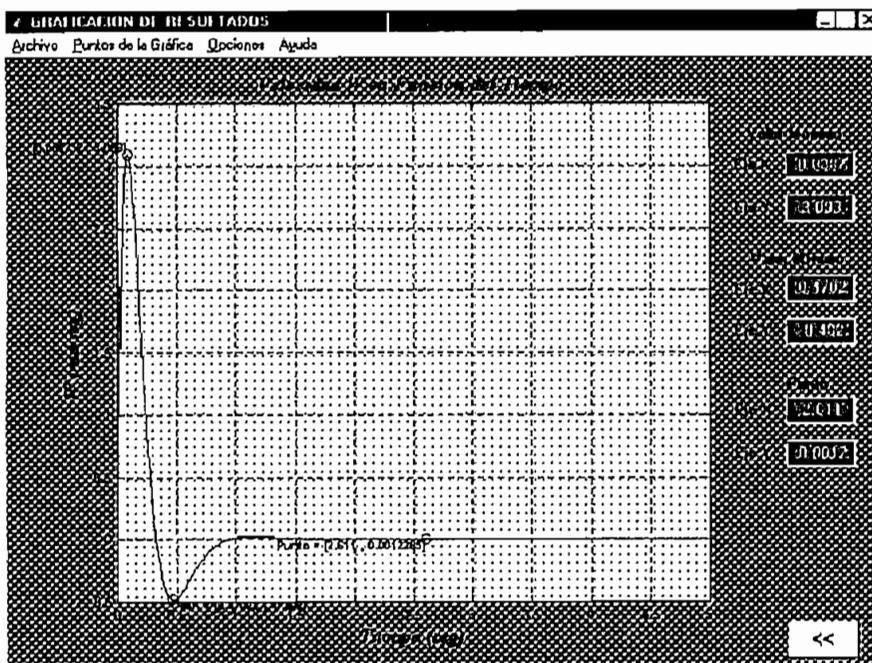


Figura 3.2.2 Velocidad Angular vs. Tiempo (Regulador de Posición).

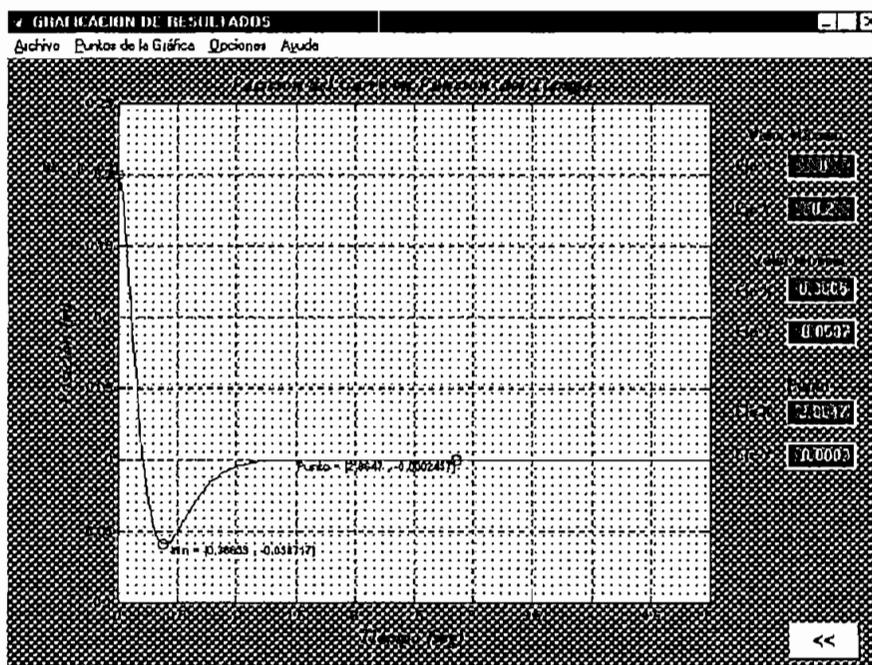


Figura 3.2.3 Posición del Carro vs. Tiempo (Regulador de Posición).

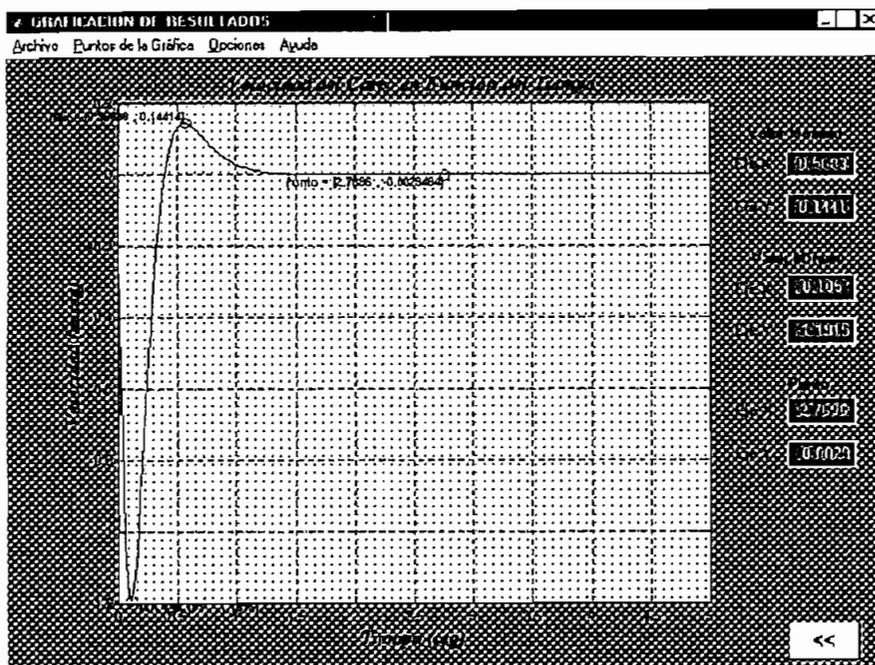


Figura 3.2.4 Velocidad del Carro vs. Tiempo (Regulador de Posición).

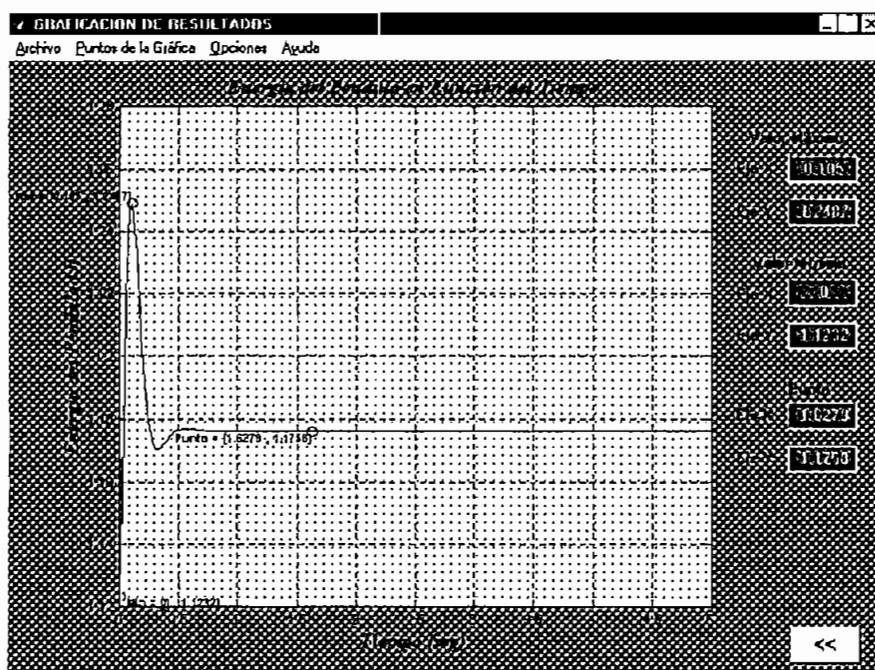


Figura 3.2.5 Energía del Péndulo vs. Tiempo (Regulador de Posición).

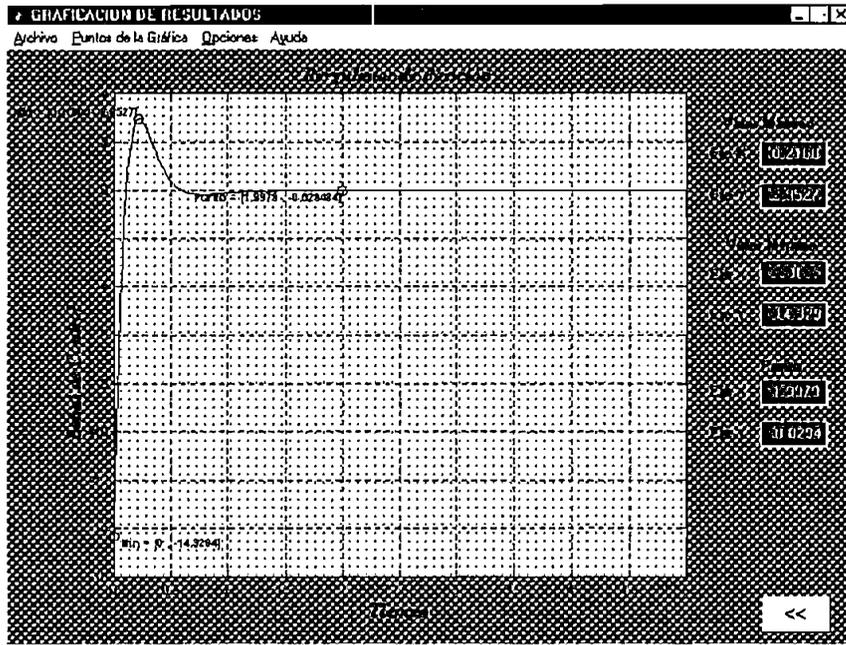


Figura 3.2.6 Señal de Control (Regulador de Posición).

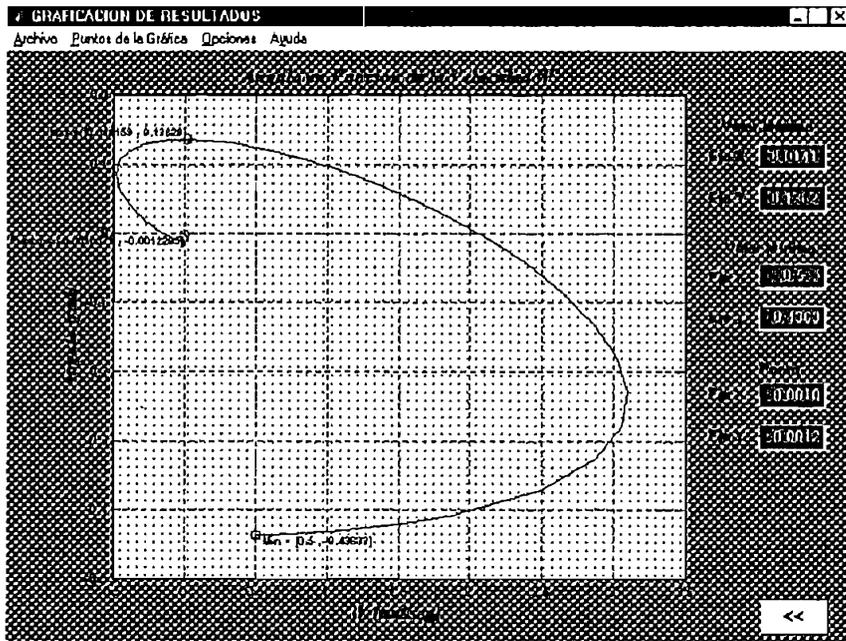


Figura 3.2.7 Trayectoria de fase: Angulo vs. Velocidad Angular (Regulador de Posición).

3.2.2 CONTROL DE ENERGÍA.

Se muestra así mismo la simulación del control de energía para el péndulo del ejemplo 3.1.5, obteniendo diferentes resultados para tres condiciones iniciales distintas.

Simulación para la primera condición inicial:

Posición angular inicial de la barra	$\theta = 180^\circ$
Velocidad angular inicial de la barra	$w = 0 \text{ rad/s}$
Posición inicial del carro	$X_c = 0 \text{ m}$
Velocidad inicial del carro	$V_c = 0 \text{ m/s}$

Se considera que el péndulo parte desde el reposo en la posición inferior y debe levantarse hasta la posición correspondiente al valor máximo de energía. Además; se toman en cuenta los siguientes datos para la simulación; con base en los obtenidos anteriormente:

Energía máxima deseada	= 1.17 J
Aceleración de la gravedad	= 9.8 m/s^2
Tiempo de simulación	= 8 s

Con estos valores se obtienen los siguientes resultados:

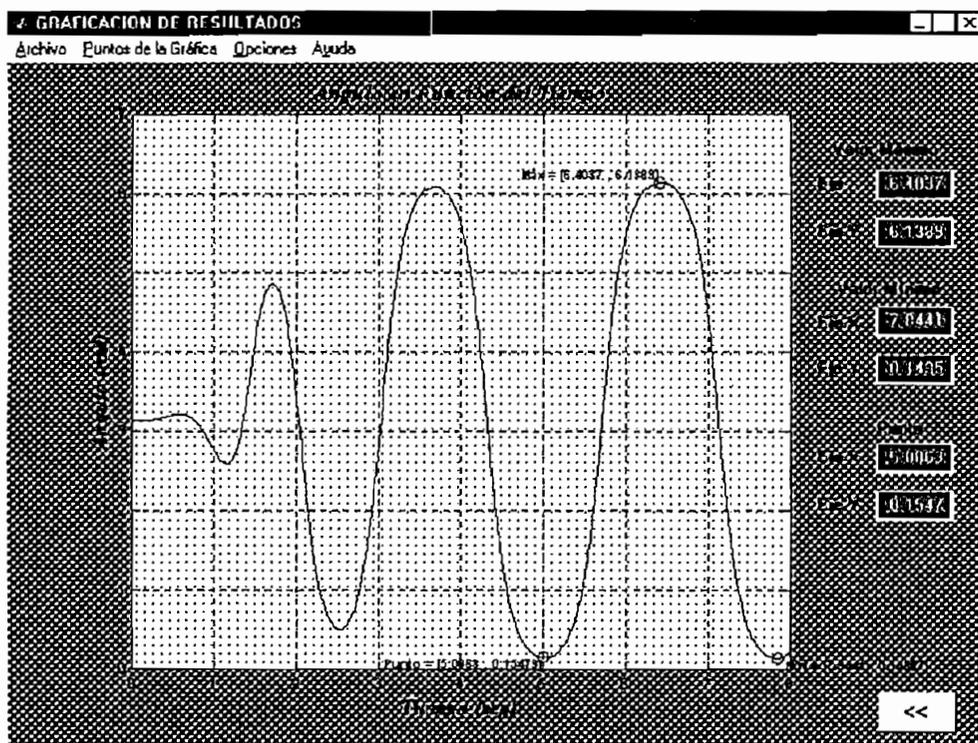


Figura 3.2.8 *Angulo vs. Tiempo (Control de Energía).*

Como se puede observar en la figura 3.2.8, la respuesta del ángulo frente al tiempo indica el incremento del balanceo del péndulo y por lo tanto el crecimiento de su ángulo hasta alcanzar un valor máximo ($6.13 \text{ rad} = 351^\circ$, según las referencias tomadas en la teoría), el cual está determinado por el valor de la energía máxima deseada.

En la figura 3.2.9, se tiene la respuesta de la velocidad angular del péndulo, en donde se puede ver claramente su oscilación. Cada cruce por cero de la gráfica significa un cambio en la dirección de movimiento del sistema. Los puntos máximos y mínimos de la gráfica determinan el cruce del péndulo por la posición de reposo ($\theta = 180^\circ$), ya que en estos puntos toda la energía del sistema es cinética y por lo tanto la velocidad de la barra es máxima.

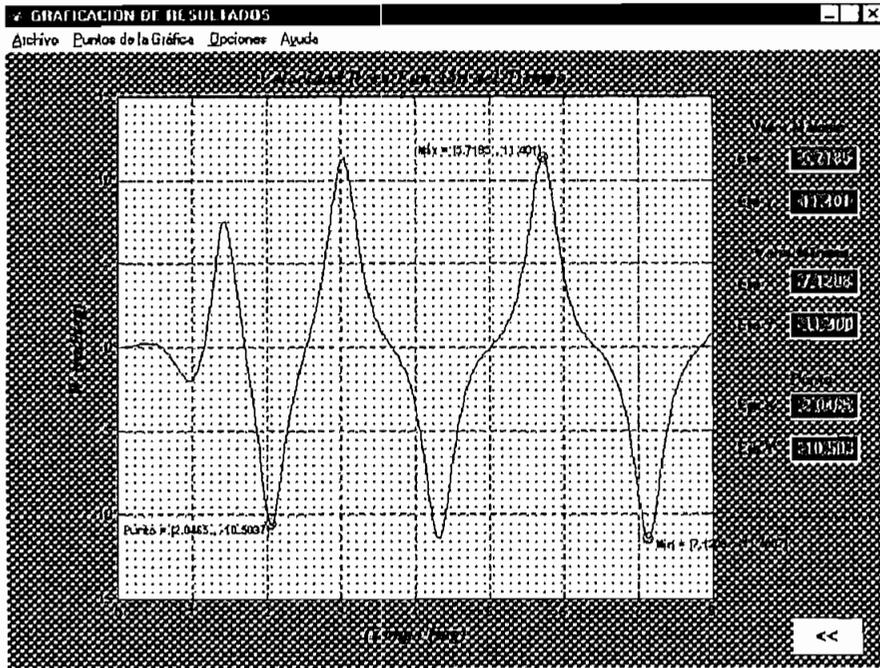


Figura 3.2.9 Velocidad Angular vs Tiempo (Control de Energía).

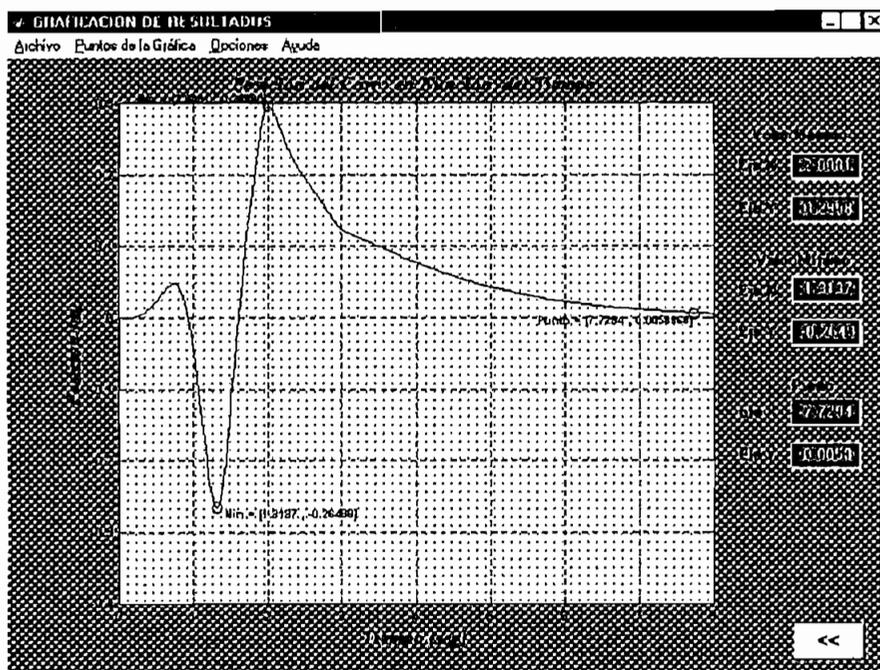


Figura 3.3.0 Posición del Carro vs. Tiempo (Control de Energía).

La figura 3.3.0 indica la gráfica de la posición contra el tiempo, en la cual se puede ver como se controla la ubicación del carro, tratando de ir siempre hacia el centro del sistema de referencia.

En la figura 3.3.1, se tiene la respuesta de la velocidad del carro, y se puede ver que el movimiento oscilatorio del mismo, hace que el sistema se balancee y por lo tanto incremente su energía hasta un nivel máximo, luego de lo cual el sistema entra un ciclo límite y por lo tanto mantenga su nivel de energía constante, lo cual conduce a que la velocidad del carro se estabilice en cero, como se ve en la figura.

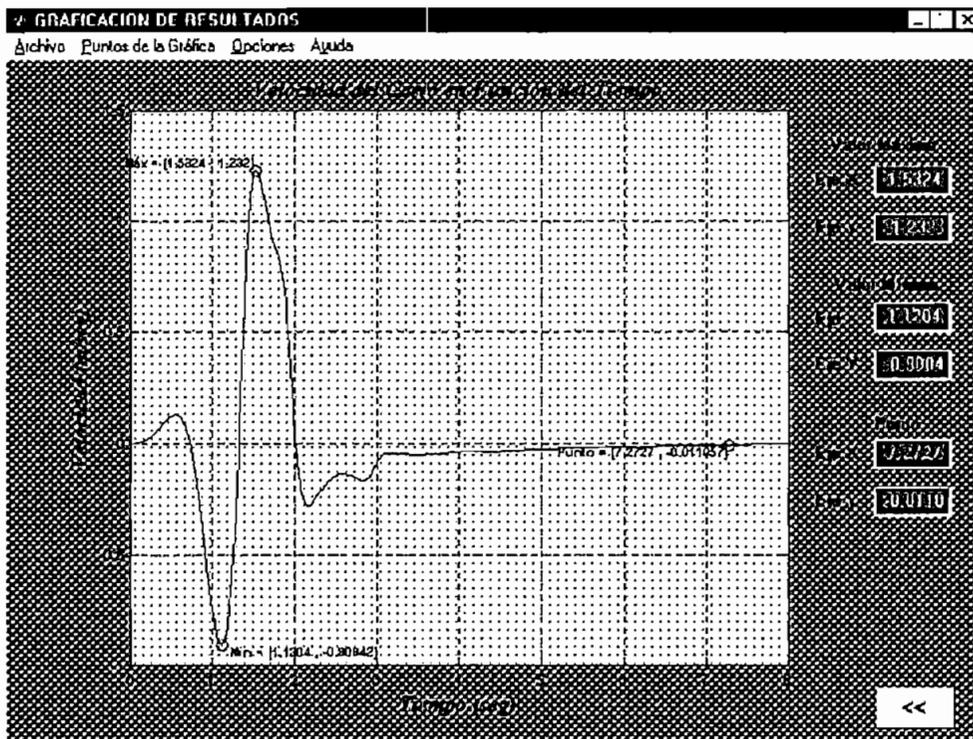


Figura 3.3.1 Velocidad del Carro vs. Tiempo (Control de Energía).

En la figura 3.3.2 se presenta la gráfica de la energía del péndulo, en la cual se ve claramente como crece hasta su valor máximo deseado, que fue un parámetro ingresado por el usuario y, como ya se dijo antes, su límite viene determinado por el valor de energía que posee el péndulo en su posición vertical superior.

Además, se tiene un tiempo de respuesta para el establecimiento del sistema de aproximadamente 3.3 segundos, tiempo en el cual el péndulo alcanza el valor de energía deseado.

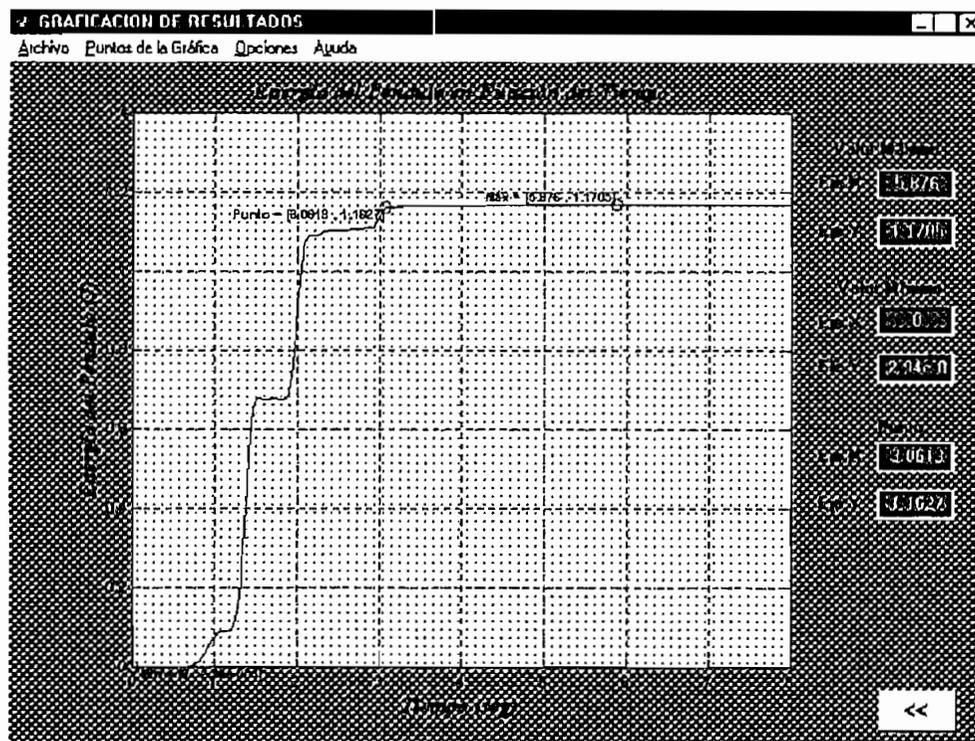


Figura 3.3.2 Energía vs. Tiempo (Control de Energía).

A continuación se presenta la gráfica de la señal de control de energía (Figura 3.3.3), la cual, como ya se dijo en el primer capítulo, actúa directamente sobre la aceleración del carro, y por lo tanto controla la energía del sistema. Como se puede ver en la figura esta señal de control interviene por un tiempo determinado, hasta que el péndulo alcanza la energía deseada y entra en un ciclo límite o curva de energía constante.

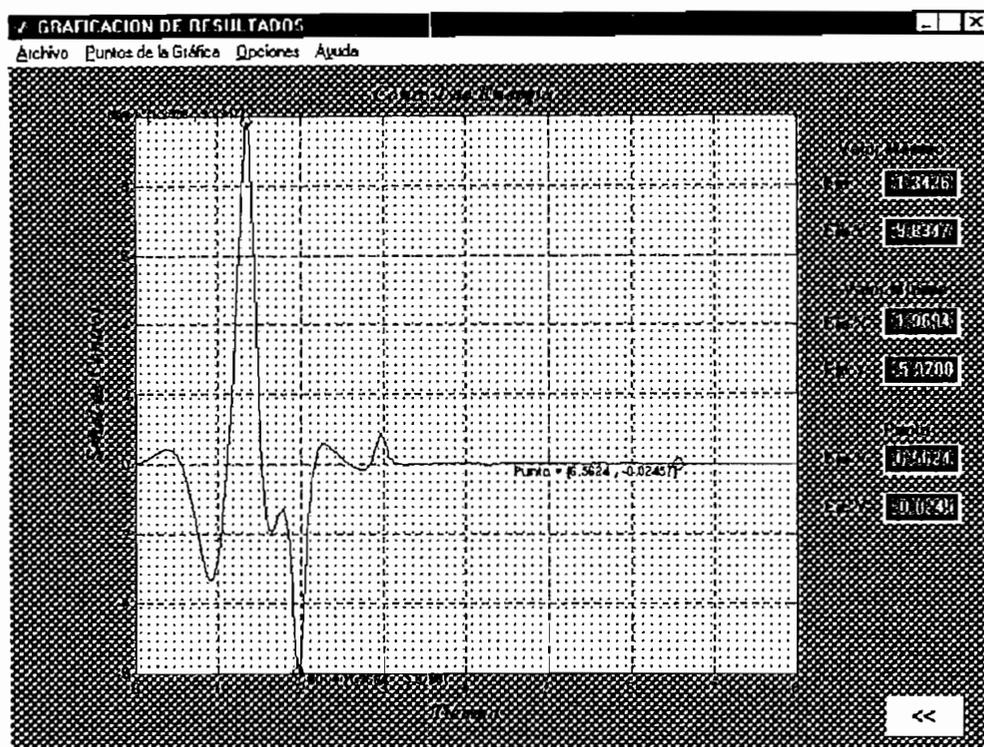


Figura 3.3.3 Señal de Control de Energía.

En la figura 3.3.4 se tiene la trayectoria de fase Angulo vs. Velocidad Angular, en la cual se puede ver claramente como el sistema sale de su estado de reposo o punto de equilibrio inferior y, como se dijo antes, entra en un "ciclo límite estable", en el cual conserva su energía por todo el tiempo.

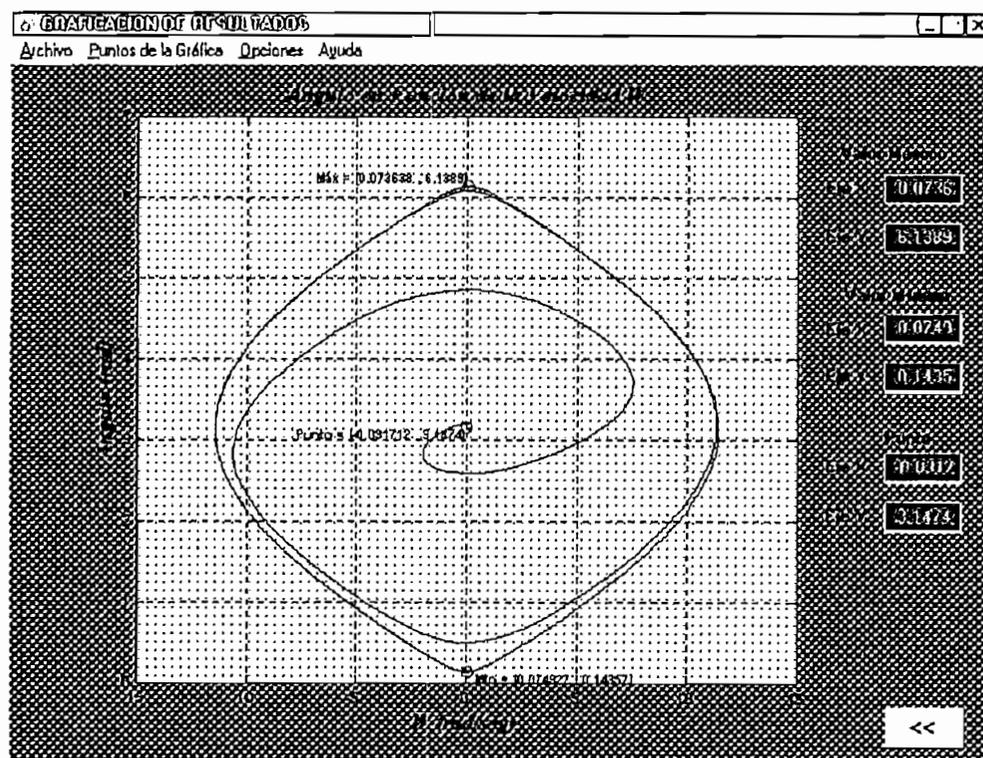


Figura 3.3.4 Trayectoria de fase: Angulo vs. Velocidad Angular (Control de energía).

Simulación para la segunda condición inicial:

Posición angular inicial de la barra	$\theta = 100^\circ$
Velocidad angular inicial de la barra	$w = 0.1 \text{ rad/s}$
Posición inicial del carro	$X_c = -0.2 \text{ m}$
Velocidad inicial del carro	$V_c = 0.2 \text{ m/s}$

Para este caso, todas las condiciones iniciales del péndulo son diferentes de cero, esto para observar que el control es indiferente para cualquier condición inicial.

Además se considera los siguientes valores, en la simulación:

Energía máxima deseada	= 1.17 J
Aceleración de la gravedad	= 9.8 m/s ²
Tiempo de simulación	= 8 s

Con estos datos se obtienen los siguientes resultados:

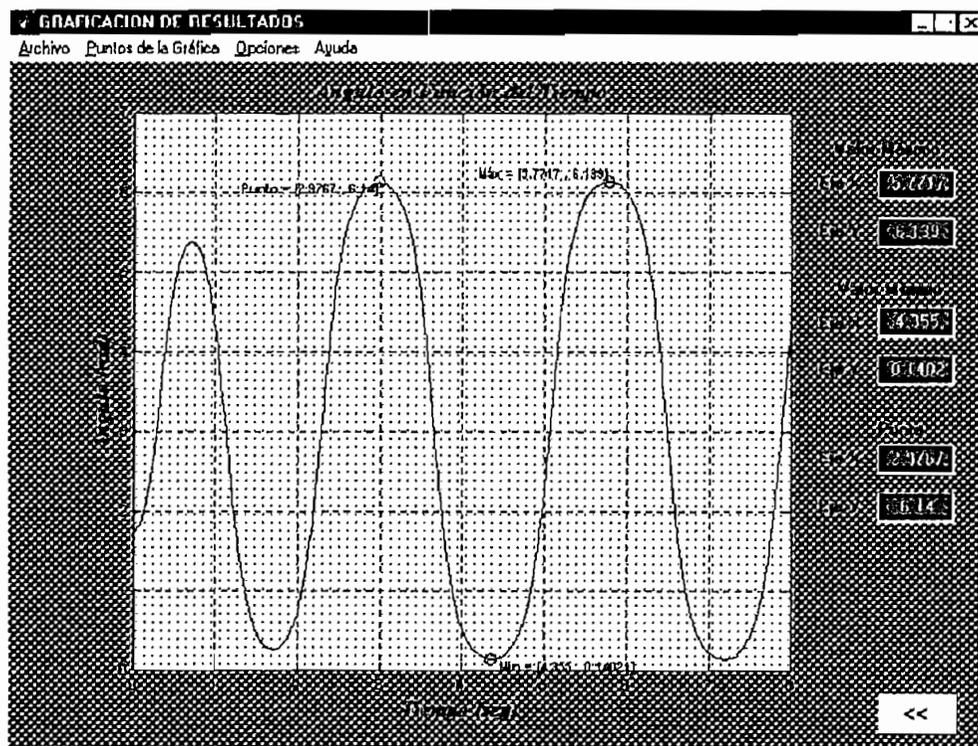


Figura 3.3.5 Angulo vs. Tiempo (Control de Energía).

Como se puede ver en la figura 3.3.5, el péndulo alcanza el ángulo máximo en menos tiempo que en la primera simulación (Figura 3.2.8), ya que parte con un ángulo inicial diferente de 180° , y por lo tanto su energía inicial es diferente de cero y puede alcanzar el valor de energía máxima deseada en menos tiempo.

A continuación (Figura 3.3.6) se presenta la gráfica de la velocidad angular, la cual al compararla con el resultado obtenido en la primera condición inicial (Figura 3.2.9), se observó que el valor máximo y mínimo de la velocidad en los dos casos son iguales ya que el nivel de energía que alcanza el péndulo para las dos simulaciones es el mismo (Energía máxima deseada = 1.17 J).

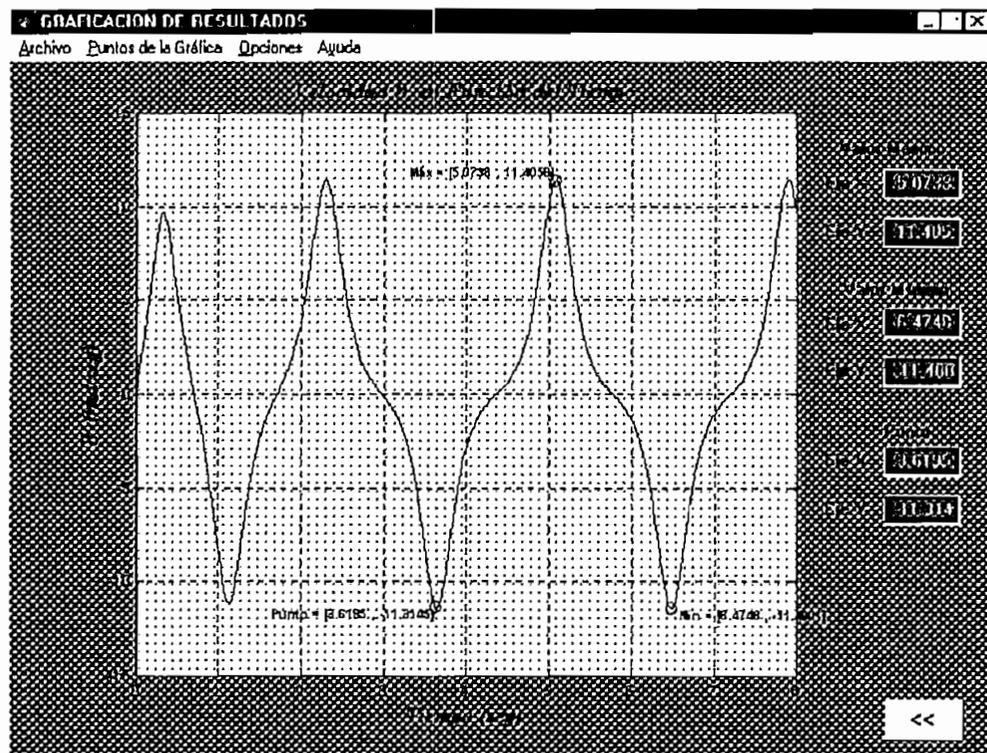


Figura 3.3.6 Velocidad Angular vs. Tiempo (Control de Energía).

En la figura 3.3.7 y 3.3.8, se presentan los resultados para la posición y velocidad del carro respectivamente. Como ya se anotó, el sistema parte con una posición y velocidad iniciales diferentes de cero, permitiendo al control de energía controlar estos dos estados haciendo que se establezcan en cero.

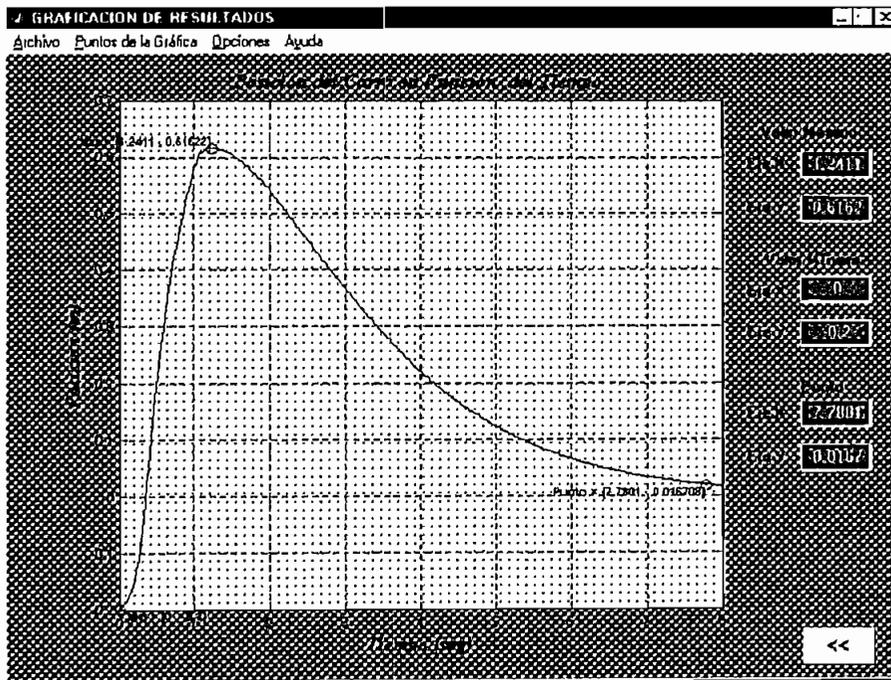


Figura 3.3.7 Posición del Carro vs. Tiempo (Control de Energía).

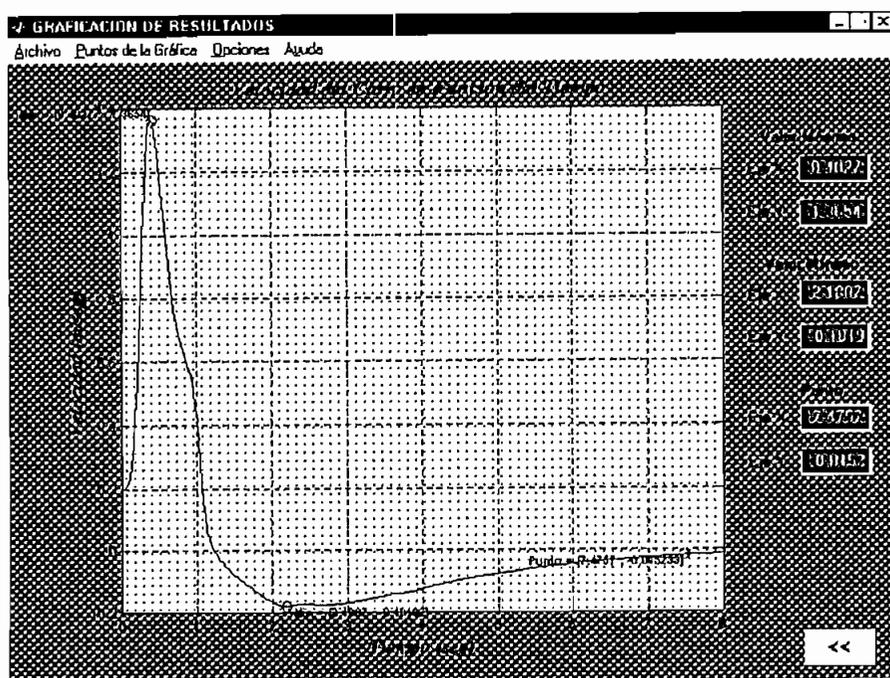


Figura 3.3.8 Velocidad del Carro vs. Tiempo (Control de Energía).

La figura a continuación (Figura 3.3.9) presenta la gráfica de la energía del péndulo, la cual como se puede ver tiende siempre a estabilizarse en el valor de energía máxima deseada, y debido a que el péndulo parte con una posición diferente a la del reposo (Energía inicial), el tiempo de convergencia es menor.

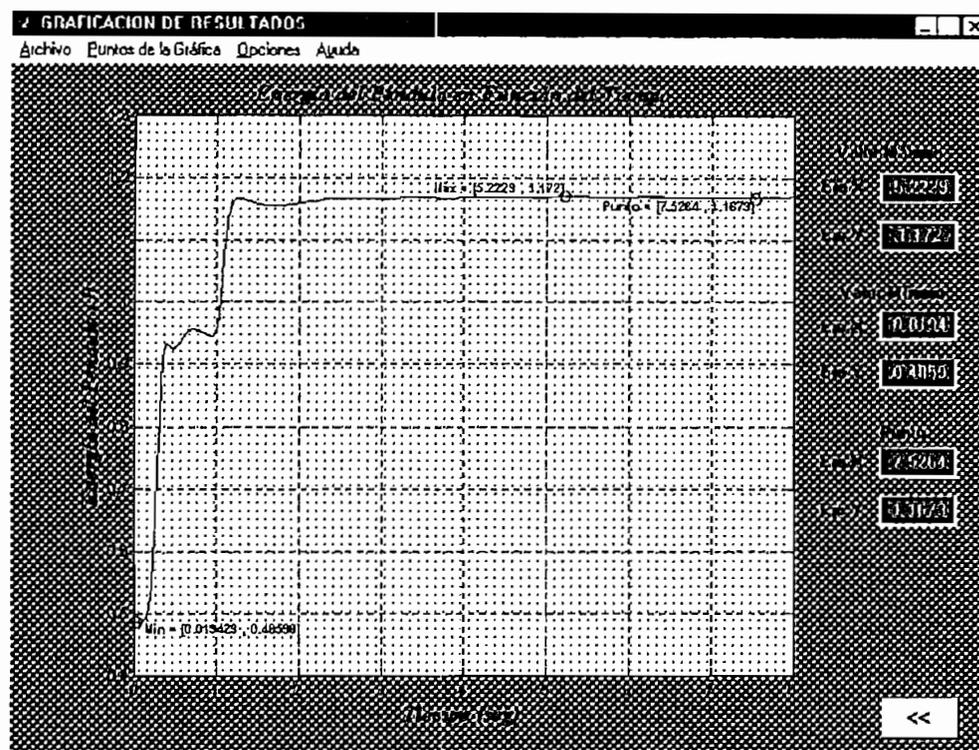


Figura 3.3.9 Energía vs. Tiempo (Control de Energía).

La señal de control de energía para este caso se gráfica en la figura 3.4.0, que como en la simulación anterior, interviene sólo por un tiempo determinado, hasta que el péndulo entra en el ciclo límite.

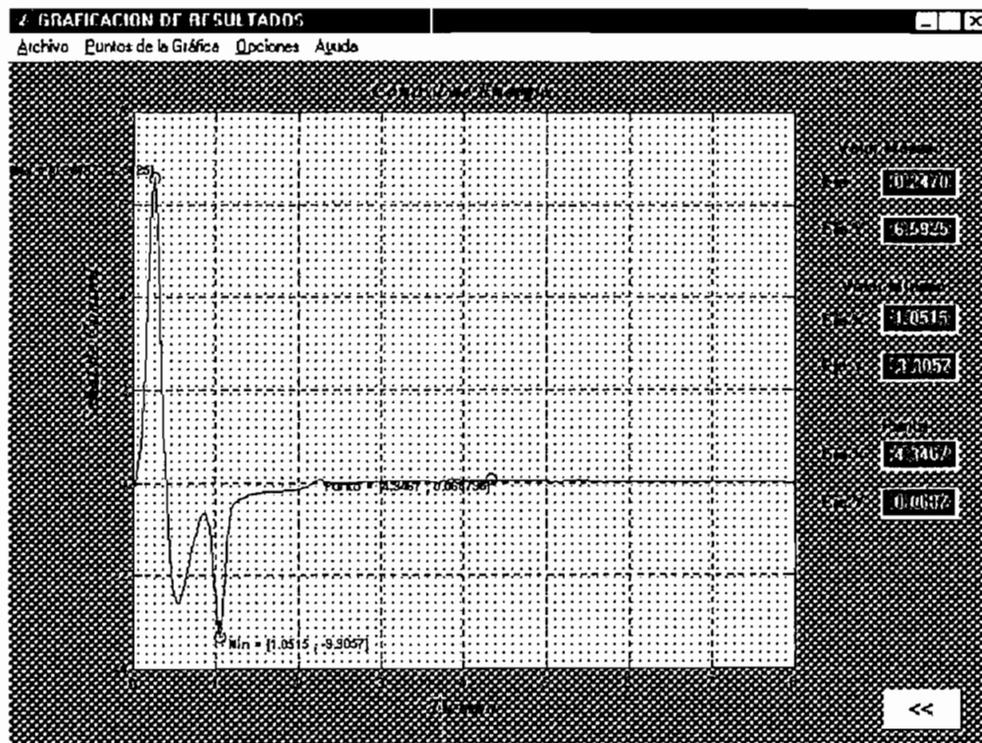


Figura 3.4.0 Señal de Control de Energía.

Por último se presenta la figura 3.4.1, que muestra la trayectoria de fase: Angulo en función del Tiempo, en el cual se observa que el sistema tiende al "ciclo límite", sin importar la condición inicial con que se hizo la simulación.

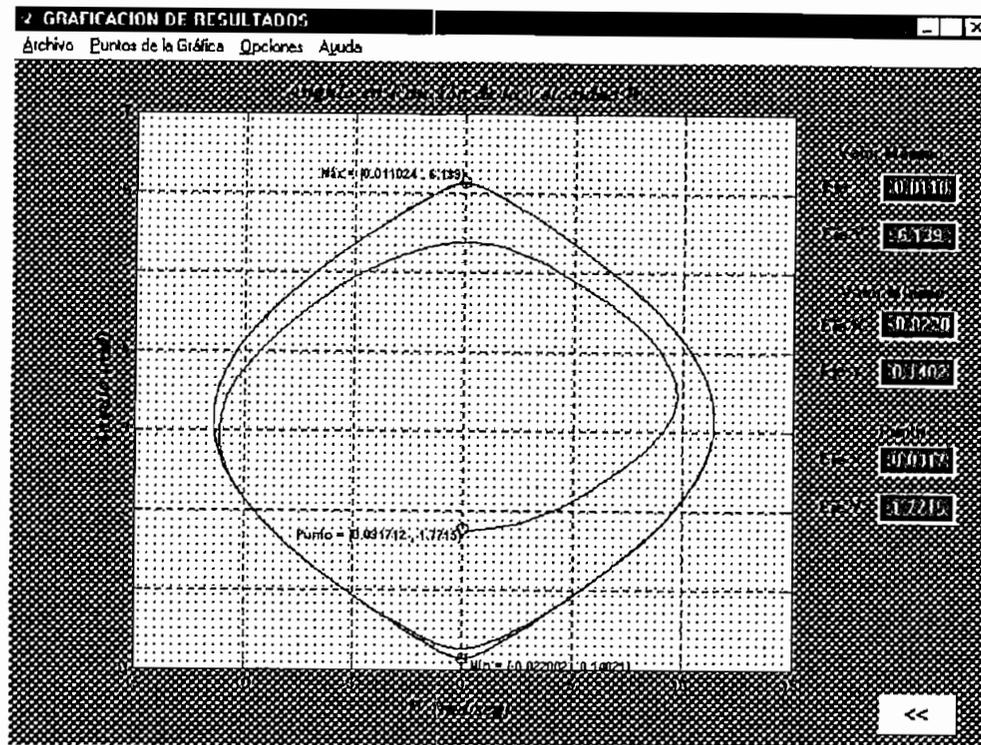


Figura 3.4.1 Trayectoria de fase: Angulo vs. Velocidad Angular (Control de Energía).

Simulación para la tercera condición inicial:

Posición angular inicial de la barra	$\theta = 45^\circ$
Velocidad angular inicial de la barra	$w = 0 \text{ rad/s}$
Posición inicial del carro	$X_c = 0 \text{ m}$
Velocidad inicial del carro	$V_c = 0 \text{ m/s}$
Energía deseada	$= 0.4 \text{ J}$
Aceleración de la gravedad	$= 9.8 \text{ m/s}^2$
Tiempo de simulación	$= 8 \text{ s}$

En esta tercera simulación se considera un ángulo inicial muy cercano a la posición vertical superior, por lo tanto la energía inicial del péndulo es alta y

relativamente cercana al valor de energía del péndulo cuando se encuentra en la posición vertical.

Además se considera un valor de energía deseada para el péndulo mucho menor al máximo que se le puede entregar (0,4J). Esto permite observar como el control de energía hace que el péndulo converja y se establezca en este valor.

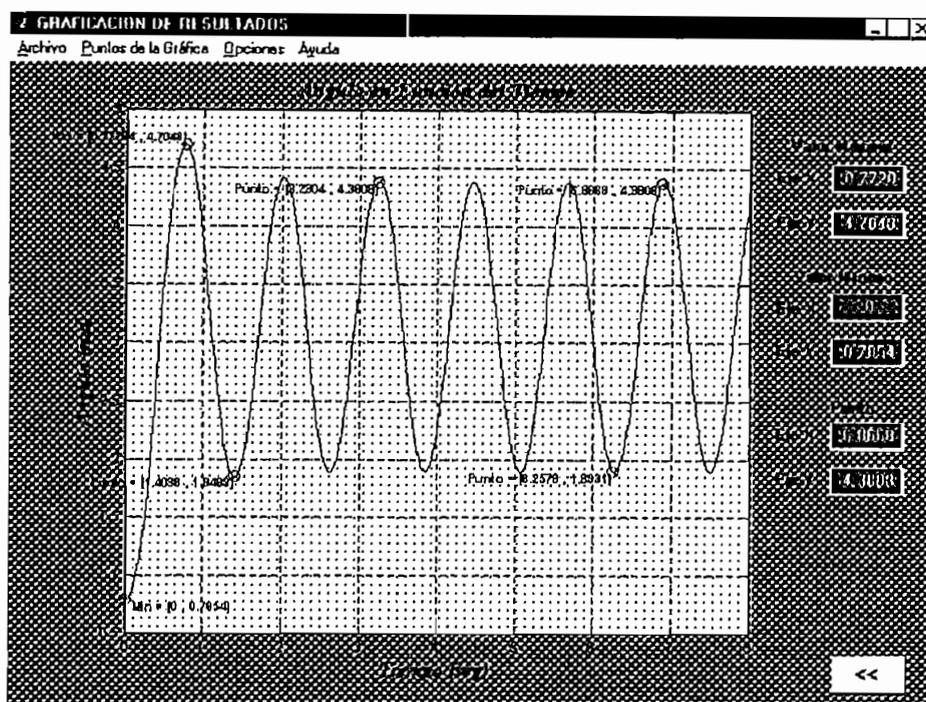


Figura 3.4.2 *Angulo vs. Tiempo (Control de Energía).*

La figura 3.4.2 indica como el péndulo parte con un ángulo inicial cercano a cero ($\theta = 45^\circ$) y luego de un tiempo determinado, debido al valor de energía entregada al sistema (energía deseada = 0.4J), éste se aleja de su posición vertical superior.

En las figuras siguientes 3.4.3, 3.4.4 y 3.4.5, se indican los gráficos de velocidad angular, posición del carro y velocidad del carro respectivamente.

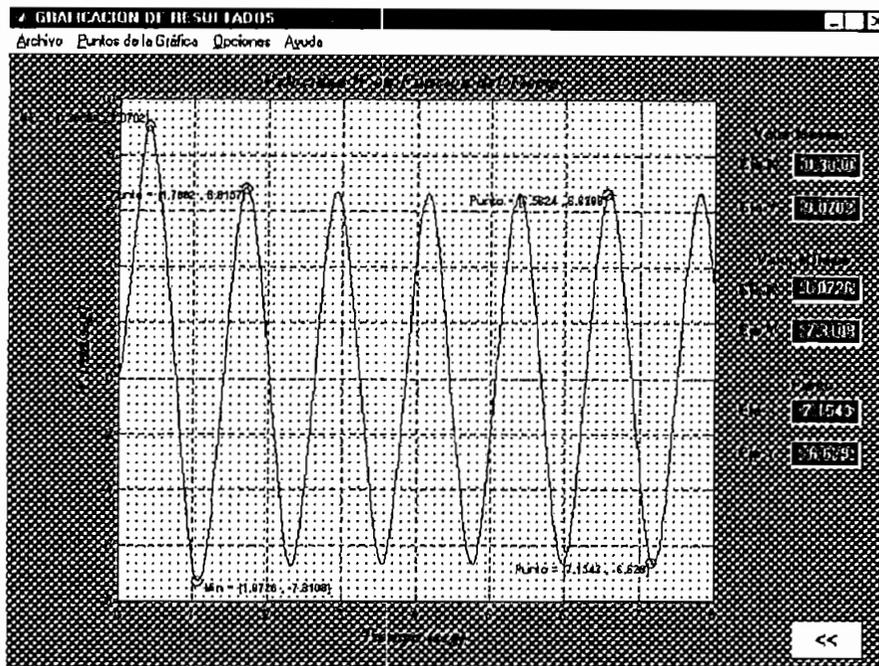


Figura 3.4.3 Velocidad Angular vs. Tiempo (Control de Energía).

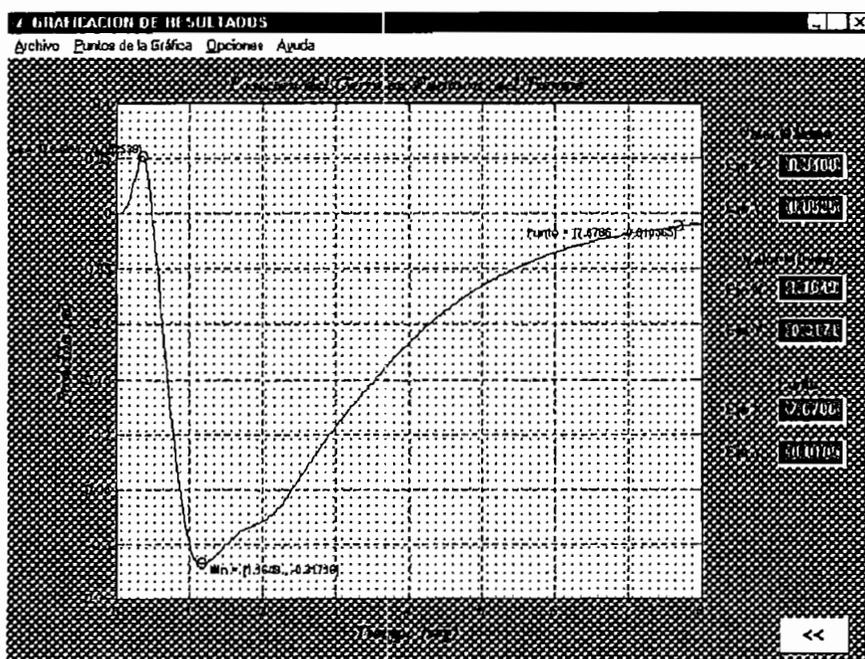


Figura 3.4.4 Posición del Carro vs. Tiempo (Control de Energía).

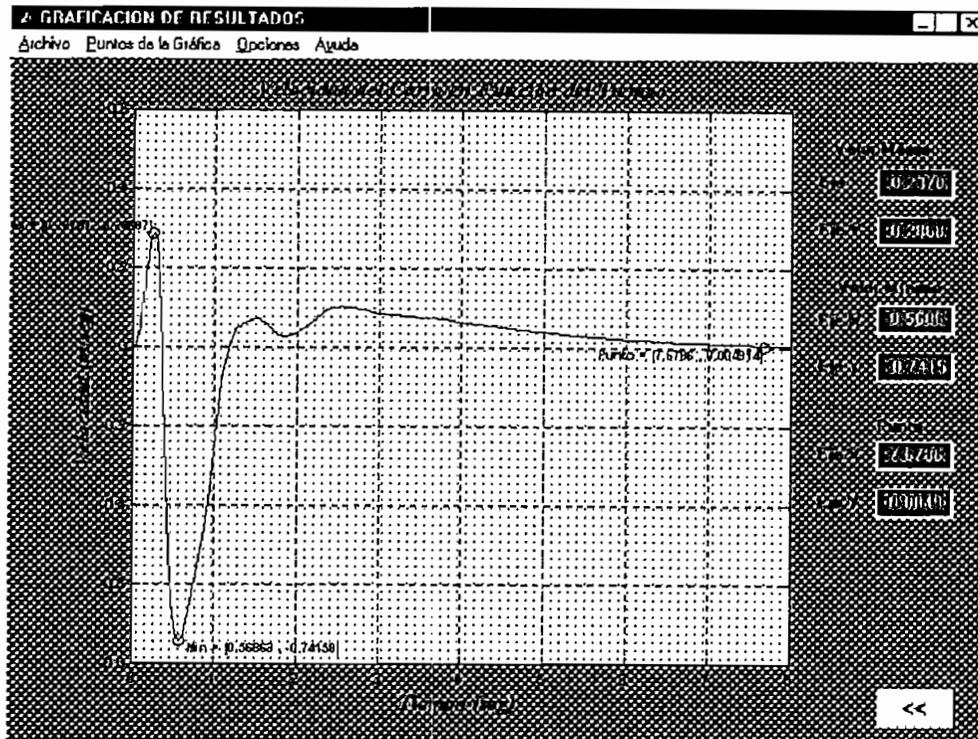


Figura 3.4.5 Velocidad del Carro vs. Tiempo (Control de Energía).

En el gráfico (Figura 3.4.6), se tiene la respuesta de la energía del péndulo, en la cual se observa claramente que el sistema parte con una energía inicial mayor al valor final al cual converge el péndulo (Energía deseada = 0.4J) debido a la acción del control implementado.

La señal de control de energía que se obtiene para esta simulación se muestra en la figura 3.4.7.

La trayectoria de fase de la figura 3.4.8 demuestra claramente la tendencia del sistema a estabilizarse en un determinado ciclo límite, el cual depende de la energía deseada a la cual se quiere que converja el péndulo.

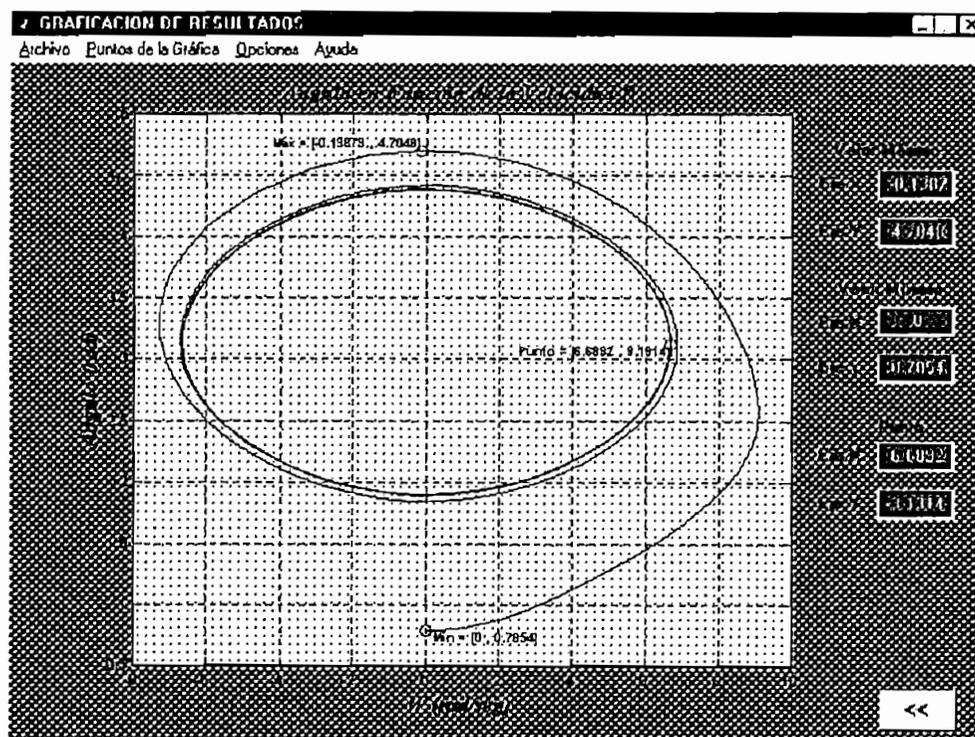


Figura 3.4.8 Trayectoria de fase: Angulo vs. Velocidad Angular (Control de Energía).

3.2.3 CONTROL HÍBRIDO.

Simulación para la primera condición inicial:

Posición angular inicial de la barra	$\theta = 180^\circ$
Velocidad angular inicial de la barra	$w = 0 \text{ rad/s}$
Posición inicial del carro	$X_c = 0 \text{ m}$
Velocidad inicial del carro	$V_c = 0 \text{ m/s}$

Se considera el ángulo inicial igual a 180° , para que el péndulo parta desde el reposo y se levante hasta que pueda ser capturado por el regulador de posición, el cual lo estabiliza en el punto de equilibrio superior. Además; se toman en cuenta los siguientes datos para la simulación:

$$\begin{aligned} \text{Energía máxima deseada} &= 1.17 \text{ J} \\ \text{Aceleración de la gravedad} &= 9.8 \text{ m/s}^2 \\ \text{Tiempos de simulación} &= 8 \text{ s} \end{aligned}$$

Se obtienen los siguientes resultados:

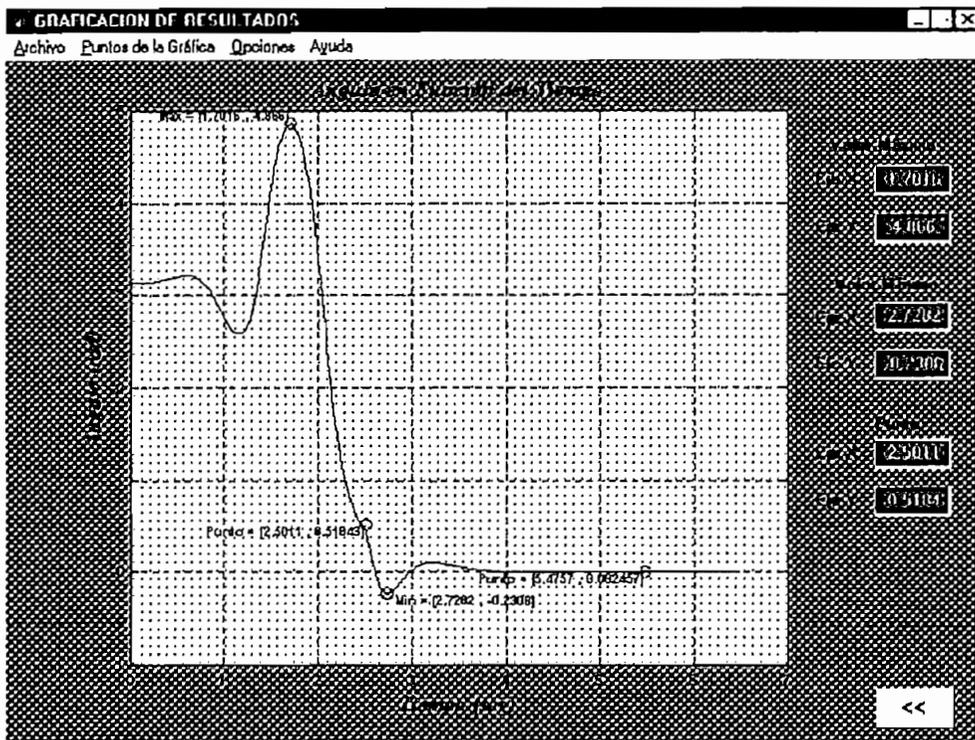


Figura 3.4.9 Ángulo vs. Tiempo (Control Híbrido).

La figura 3.4.9 presenta la respuesta del ángulo en función del tiempo para el péndulo, en esta gráfica se puede ver claramente la acción de los dos controles implementados; además, se observa el punto de conmutación del control.

Entre 0 y 2.48 segundos interviene el Control de Energía, a partir de este tiempo, y hasta aproximadamente 3.6 s actúa el Regulador de Posición, por lo tanto en un tiempo cercano a 2.48 segundos, se produce la conmutación del control (Punto en el gráfico [2.4863 0.5036]).

A continuación se indica la gráfica de la respuesta para la velocidad angular, en la cual también se observa el punto de conmutación del control; además, se puede ver la estabilización de la velocidad del péndulo en cero.

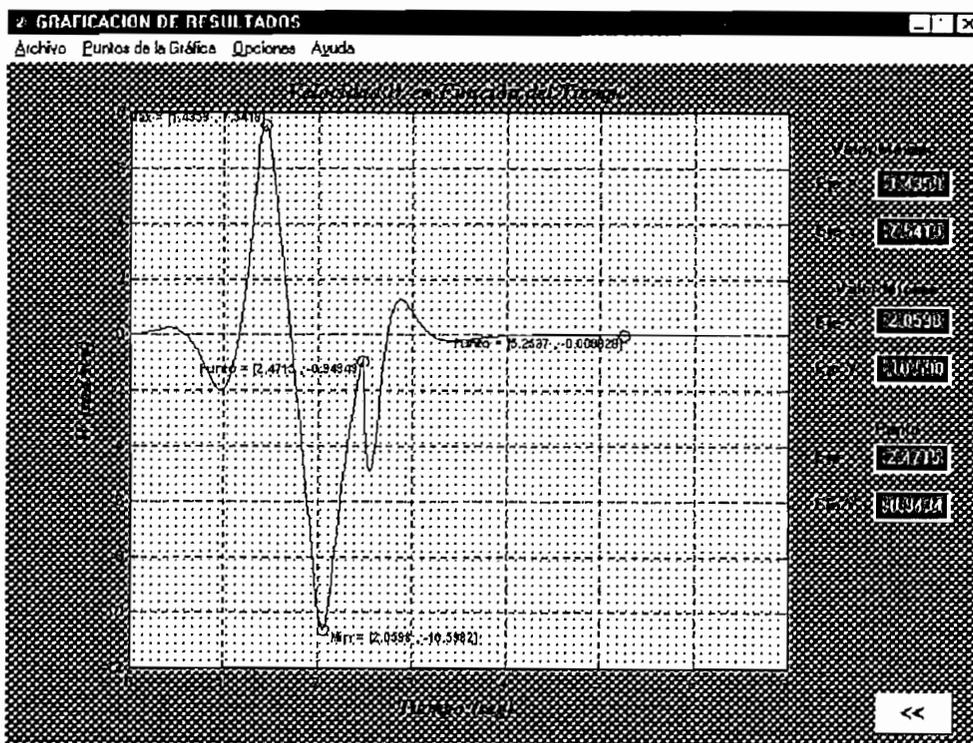


Figura 3.5.0 Velocidad Angular vs. Tiempo (Control Híbrido).

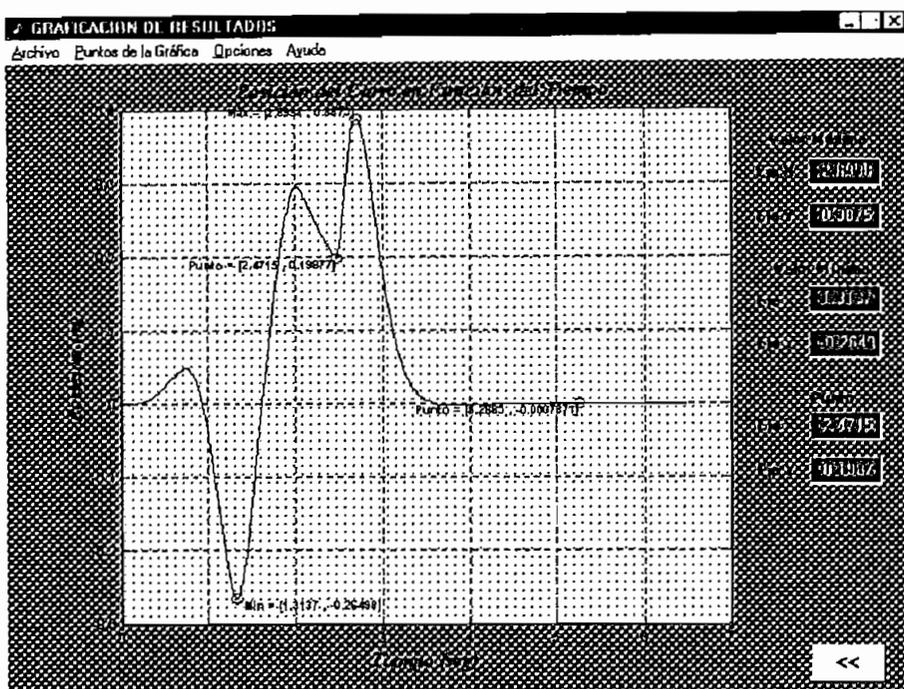


Figura 3.5.1 Posición del Carro vs. Tiempo (Control Híbrido).

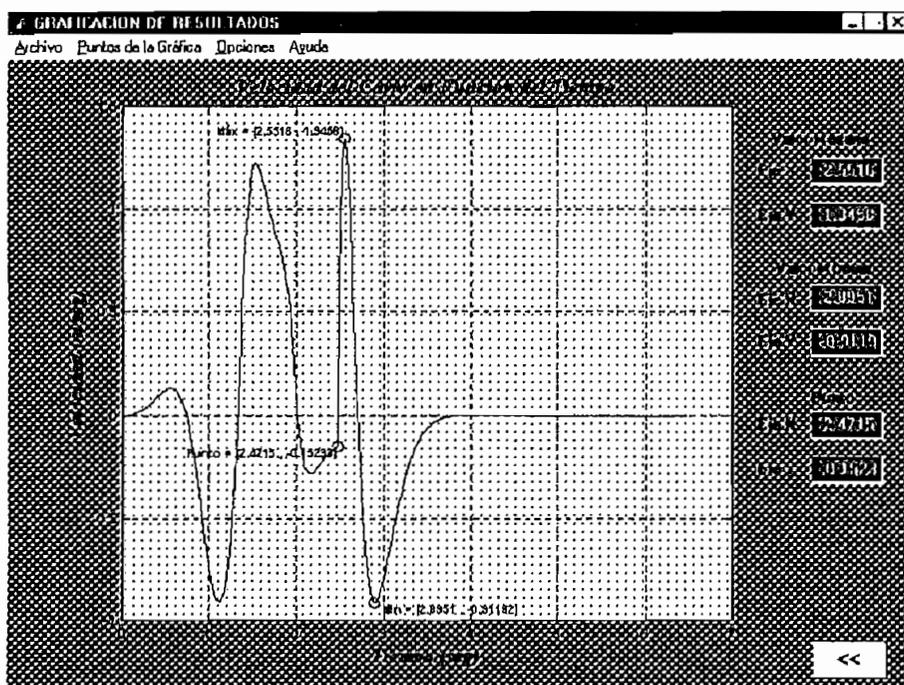


Figura 3.5.2 Velocidad del Carro vs. Tiempo (Control Híbrido).

Las dos últimas figuras: 3.5.1 y 3.5.2 presentan las gráficas de la posición y velocidad del carro respectivamente, en donde también se observa la actuación de los dos controles estabilizando estas variables o estados en cero, es decir, el carro tiende siempre al centro del eje de referencia.

La gráfica de la energía en función del tiempo se presenta en la figura 3.5.3, la cual posee una abundante información acerca del comportamiento del péndulo frente al Control Híbrido aplicado. El punto $[2.4715 \ 1.1042]$ ubicado en la curva, indica el instante en que se produce la conmutación del control. El pico máximo de energía que se observa, se debe a que el péndulo, al ser capturado por el regulador pasa por la posición vertical superior con una velocidad y por tanto posee una energía cinética, la cual se suma a la energía potencial que el péndulo tiene en ésta posición.

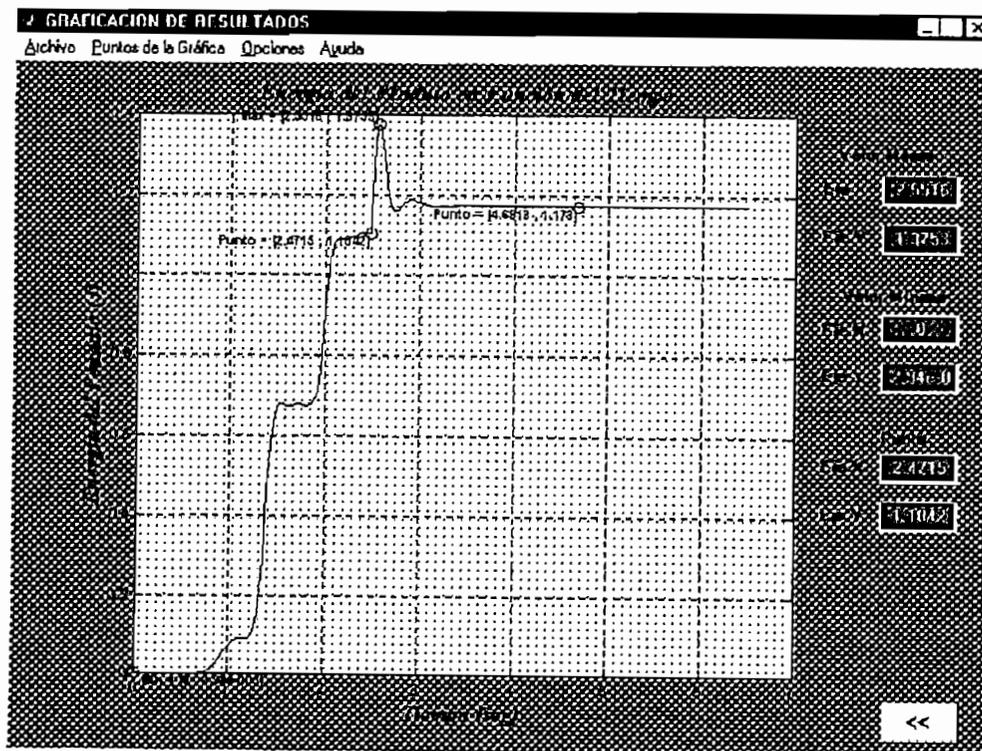


Figura 3.5.3 Energía vs. Tiempo (Control Híbrido).

La siguiente figura (3.5.4) permite observar la trayectoria de fase: Angulo en función de la Velocidad Angular, en donde se observa como el control de energía desestabiliza el sistema sacándolo de su punto de equilibrio inferior ($\theta = 180^\circ$), para luego, en el punto de conmutación del control, capturar al péndulo por medio del regulador de posición que lo estabiliza en el punto de equilibrio superior ($\theta=0^\circ$).

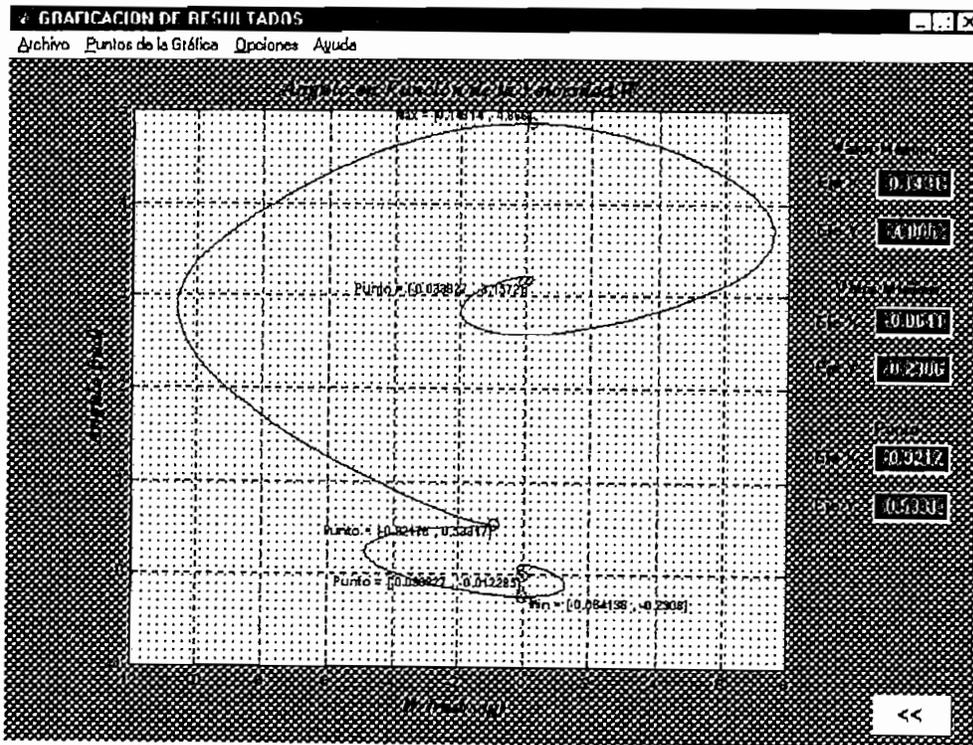


Figura 3.5.4 Trayectoria de Fase: Angulo vs. Velocidad Angular (Control Híbrido)

Simulación para la segunda condición inicial:

Posición angular inicial de la barra	$\theta = -100^\circ$
Velocidad angular inicial de la barra	$w = 0.1 \text{ rad/s}$
Posición inicial del carro	$X_c = -0.2 \text{ m}$
Velocidad inicial del carro	$V_c = 0.1 \text{ m/s}$

En esta ocasión se consideran todos los valores iniciales distintos de cero, para comprobar que sin importar las condiciones iniciales con que se parte, el péndulo siempre es llevado a su posición vertical superior.

Además; se deben tomar en cuenta los siguientes datos para la simulación:

Energía máxima deseada	= 1.17 J
Aceleración de la gravedad	= 9.8 m/s^2
Tiempo de simulación	= 8 s

En esta simulación se observa que debido a que el péndulo parte con una posición diferente a la del reposo, y por lo tanto posee una energía inicial, el control híbrido tarda menos tiempo en hacer que el sistema alcance el punto de equilibrio superior.

A continuación se presentan los resultados:

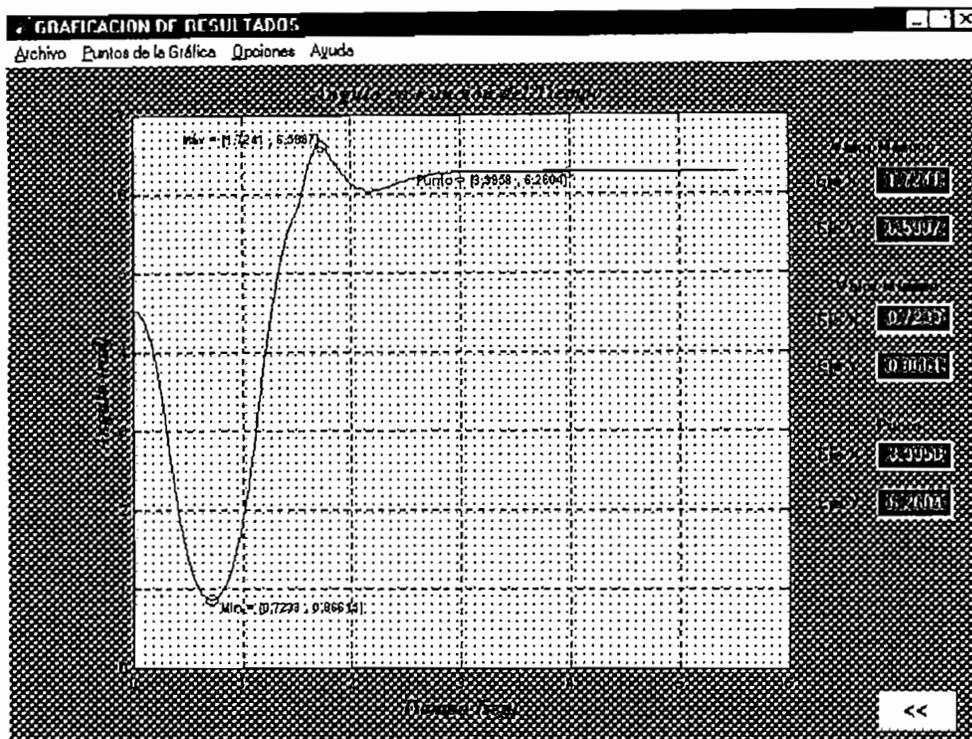


Figura 3.5.5 *Angulo vs. Tiempo (Control Híbrido)*

Al observar la figura 3.5.5, se comprueba lo dicho anteriormente, el punto de conmutación del control para estas condiciones iniciales es menor (1.48 segundos) que en la primera simulación (2.48 segundos) en donde el péndulo no tiene una energía inicial como en este caso.

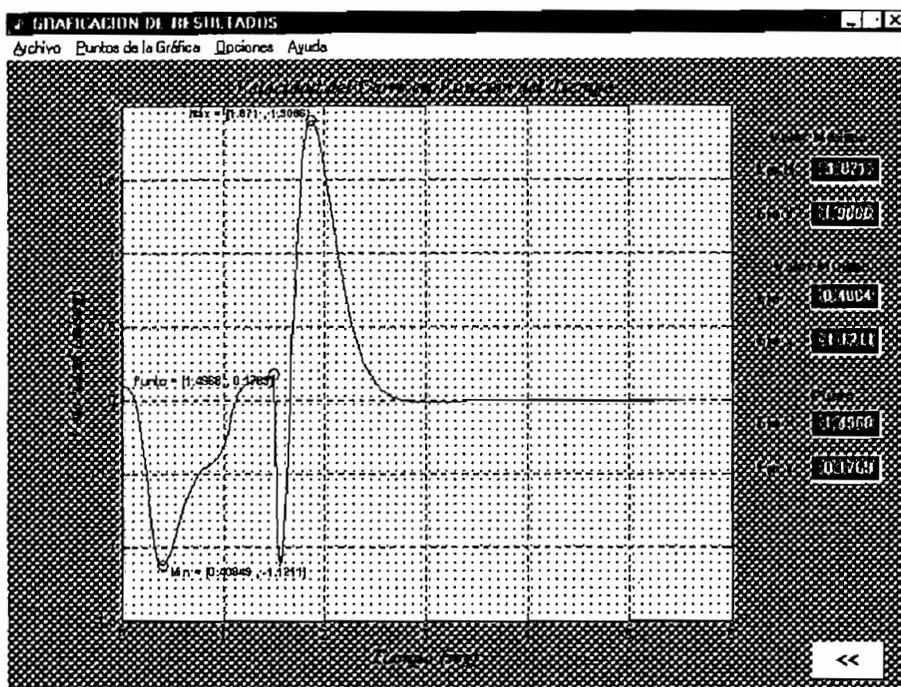


Figura 3.5.8 Velocidad del Carro vs. Tiempo (Control Híbrido)

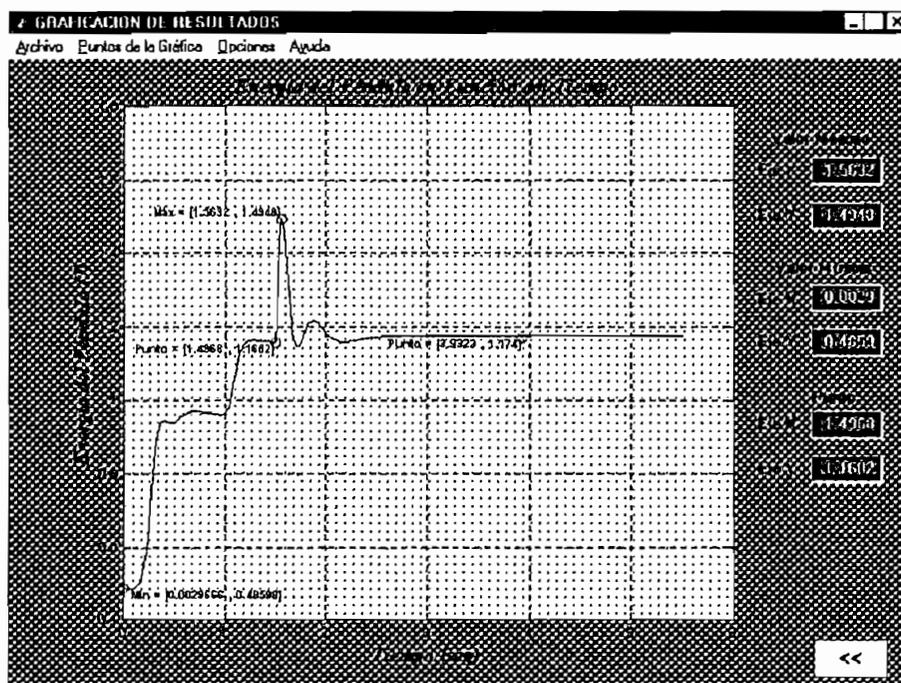


Figura 3.5.9 Energía vs. Tiempo (Control Híbrido)

La gráfica de energía en función del tiempo (Figura 3.5.9), presenta las características de funcionamiento del sistema. Por ejemplo se tiene el punto de partida del péndulo con una energía inicial de 0.4859 J, que corresponde al ángulo inicial $\theta = 100^\circ$, se tiene también el punto de conmutación del control, el pico máximo de energía del péndulo y la energía que éste alcanza cuando se estabiliza el sistema en la posición vertical superior.

La figura 3.6.0 presenta la trayectoria de fase para el ángulo en función de la velocidad angular, y de igual manera que en la primera simulación, indica como el péndulo es llevado desde su punto de equilibrio inferior hasta su punto de equilibrio superior (que es ahora estable).

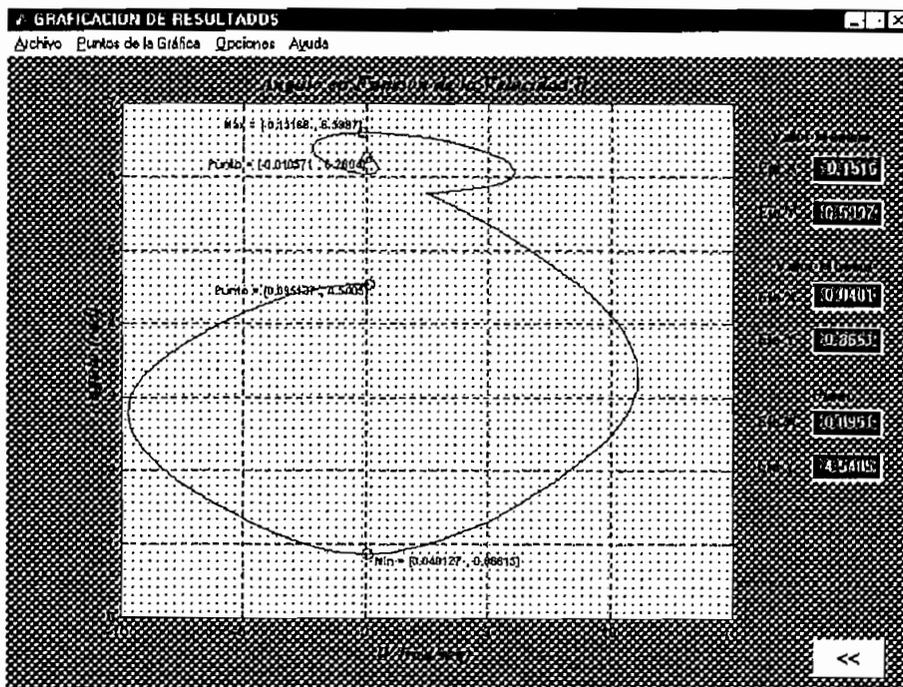


Figura 3.6.0 Trayectoria de Fase: Angulo vs. Velocidad Angular
(Control Híbrido)

Simulación para la tercera condición inicial:

Posición angular inicial de la barra $\theta = -30^\circ$

Velocidad angular inicial de la barra $w = -0.2 \text{ rad/s}$

Posición inicial del carro $X_c = 0.5 \text{ m}$
 Velocidad inicial del carro $V_c = 0 \text{ m/s}$

Para este caso se considera un ángulo inicial negativo y cuyo valor absoluto es menor que 32° , con lo cual el péndulo se encuentra dentro de la región de trabajo del regulador de posición, por lo tanto en el control híbrido que se aplica no interviene el control de energía.

Se deben tomar en cuenta los siguientes datos para la simulación:

Energía máxima deseada = 1.17 J
 Aceleración de la gravedad = 9.8 m/s^2
 Tiempo de simulación = 8 s

Los resultados son los siguientes:

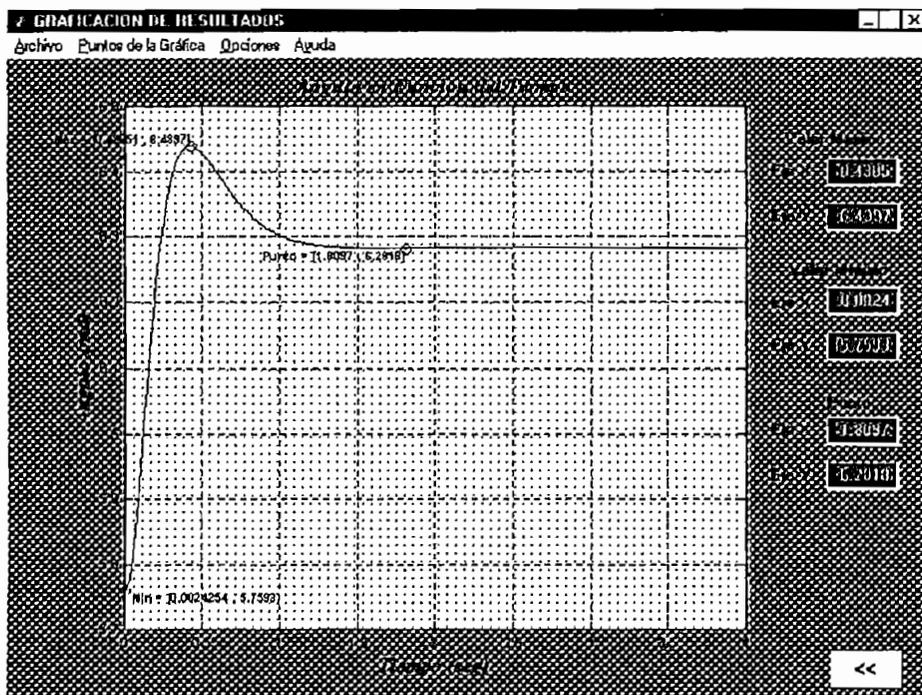


Figura 3.6.1 Angulo vs. Tiempo (Control Híbrido).

Como ya se anotó anteriormente, la figura 3.6.1 comprueba la inexistencia de un punto de conmutación en el control híbrido, es decir solo interviene el regulador de posición ya que el ángulo inicial se encuentra muy cercano a la vertical, y por lo tanto el péndulo está dentro de su región de trabajo lineal, condición suficiente para que su posición se regule únicamente mediante el LQR.

A continuación se presentan los gráficos obtenidos para los diferentes estados del péndulo. No se hace una descripción de cada uno de ellos ya que esto se hizo en las simulaciones realizadas para el regulador de posición.

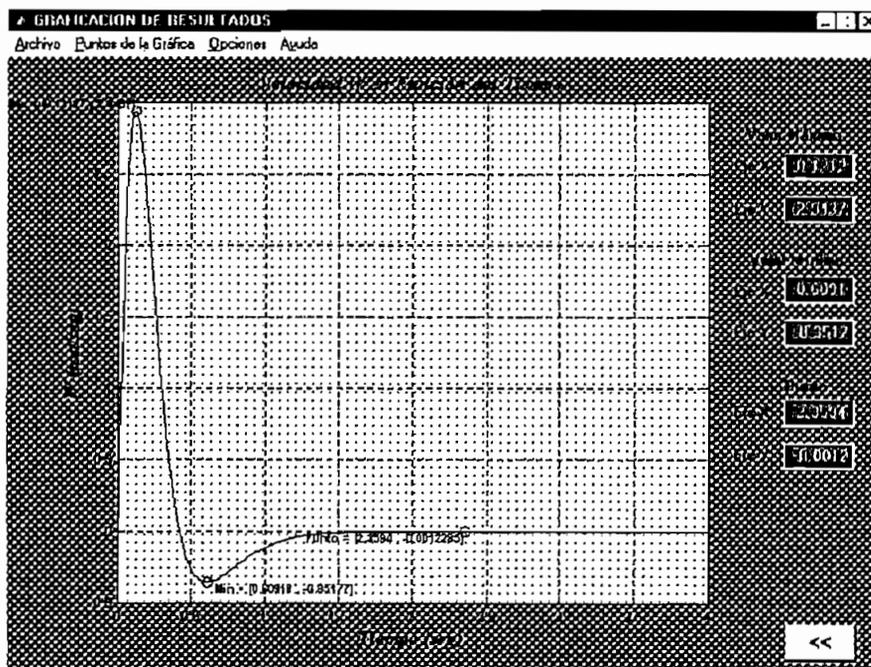
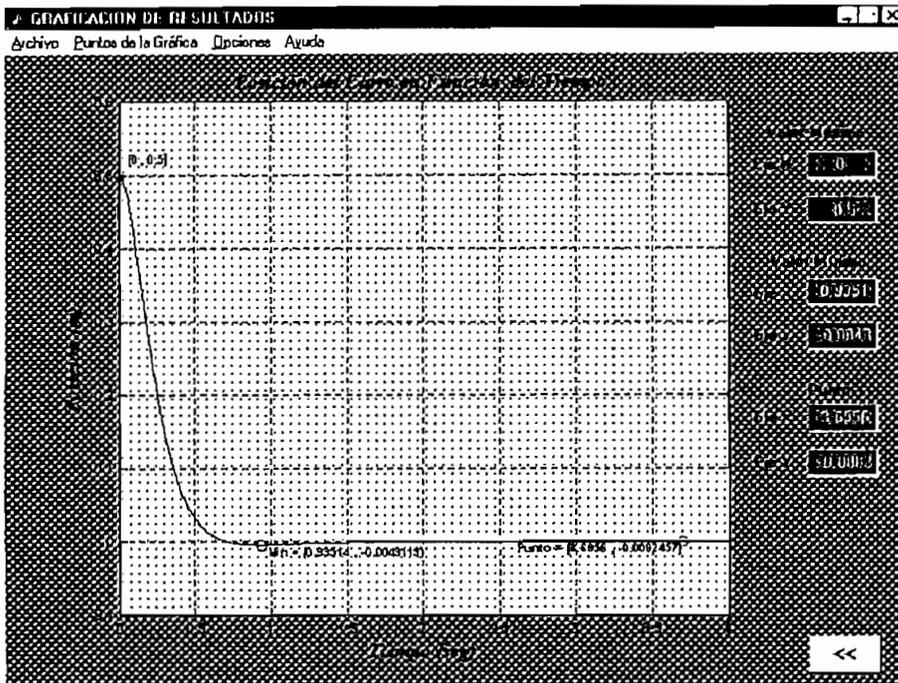


Figura 3.6.2 Velocidad Angular vs. Tiempo (Control Híbrido).



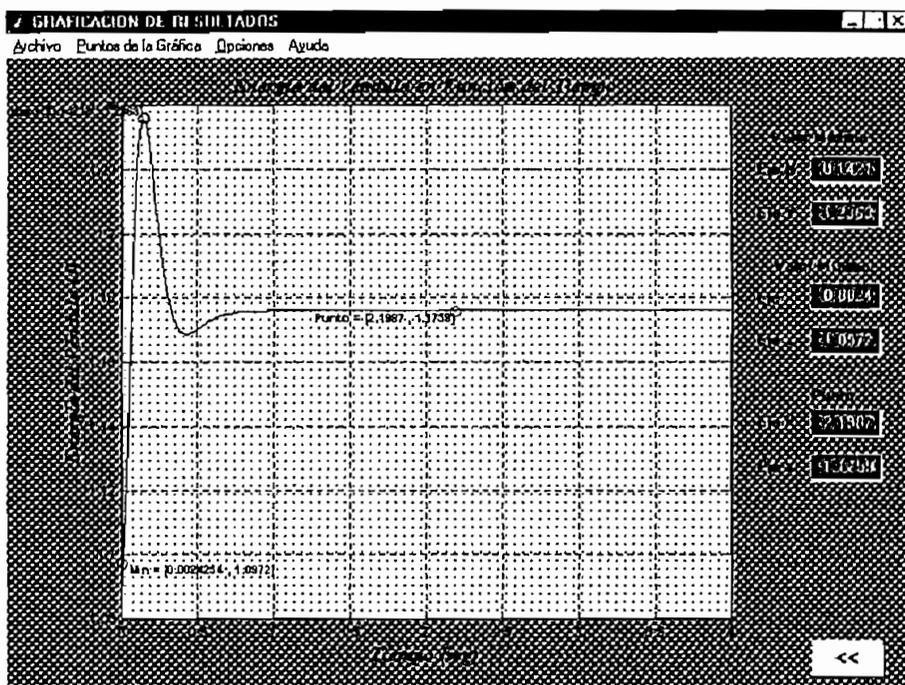


Figura 3.6.5 Energía vs. Tiempo (Control Híbrido).

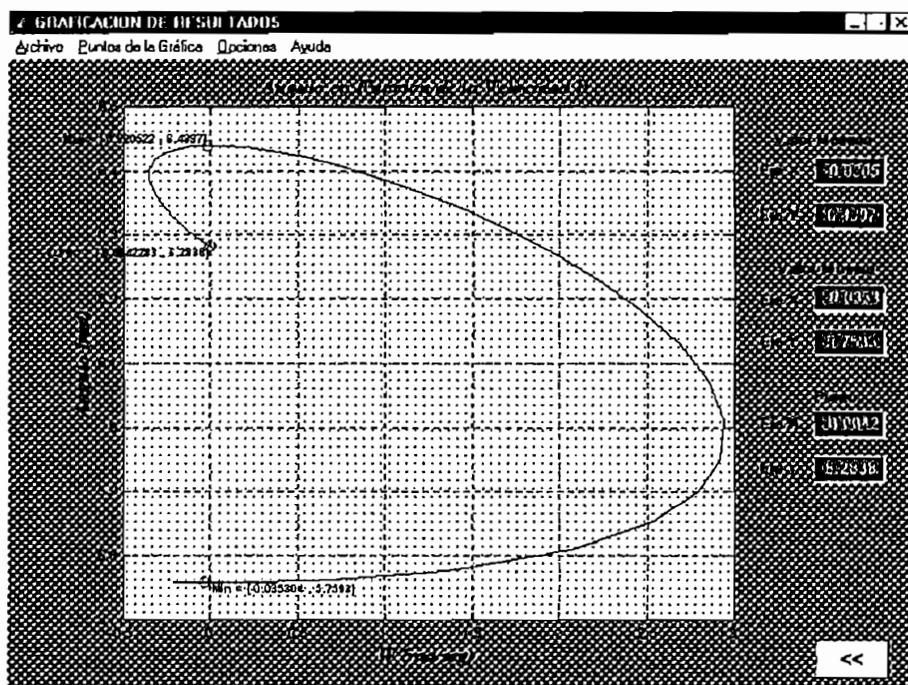


Figura 3.6.6 Trayectoria de fase: Angulo vs. Velocidad Angular (Control Híbrido).

Capítulo IV

CONCLUSIONES

4.- CONCLUSIONES.

RESPECTO A MATLAB.

Mediante la aplicación de MATLAB a este proyecto, se comprueba una vez más la versatilidad y facilidad que presentan las herramientas de este programa, con aplicación a los sistemas de control.

MATLAB permite un sistema de trabajo interactivo cuyo elemento básico son las matrices. El programa realiza de un modo rápido la resolución numérica de problemas en un tiempo mucho menor que si se quisiesen resolver estos mismos problemas con lenguajes de programación tradicionales como pueden ser Fortran, Basic o C.

MATLAB dispone también en la actualidad de un amplio abanico de programas de apoyo especializados, denominados Toolboxes, que extienden significativamente el número de funciones incorporadas en el programa principal. Estos Toolboxes cubren casi todas las áreas principales en el mundo de la ingeniería y la simulación, destacando entre ellos el 'toolbox' de proceso de imágenes, señal, control, estadística, análisis financiero, matemáticas simbólicas, redes neurales, lógica difusa, identificación de sistemas, simulación de sistemas dinámicos, etc.

MATLAB es un lenguaje de programación que facilita el manejo de variables almacenadas en forma de arreglos matemáticos, esto lo convierte en una herramienta muy adecuada para el cálculo matricial y, en concreto, para modelar sistemas mecánicos mediante variables de estado.

RESPECTO AL PROGRAMA DESARROLLADO.

El programa desarrollado posee diferentes opciones para la presentación de los resultados, tales como copiar gráficos en archivos, impresión de gráficos, impresión de resultados, guardar los parámetros de un determinado péndulo, etc. que hacen de este programa una ayuda muy importante para el estudio de las técnicas de control presentadas.

La velocidad de la animación gráfica del péndulo, depende mucho del computador que se utilice, ya que si éste es muy rápido en realizar los cálculos, se observa el movimiento del péndulo en forma continua y sin intermitencia.

Todas las pantallas de presentación del programa cuentan con una ayuda en línea a la que se puede acceder mediante la barra de menús, lo que facilita su utilización y manejo.

El programa posee las restricciones necesarias para impedir el ingreso de valores que estén fuera de la realidad, y por lo tanto evitar que se obtengan resultados erróneos.

RESPECTO AL SISTEMA PÉNDULO-CARRO.

Se obtuvo un modelo del sistema mecánico mediante ecuaciones diferenciales que definen las características de funcionamiento del péndulo para cualquier instante o posición del mismo, sin tener que limitar la región de trabajo del sistema a casos particulares.

El análisis del sistema mecánico se realizó en base a un estudio de energías, ya que cada uno de los controles que se implementan utiliza este parámetro para su control.

Como se dijo en el segundo capítulo, si se desea implementar en forma práctica éste sistema de control es muy importante tomar en cuenta la existencia de una trayectoria limitada para el carro y por lo tanto, hacer las consideraciones necesarias en la ganancia del control de energía y en la matriz de ponderación del regulador de posición, para que la longitud de ésta sea óptima.

Con el desarrollo de este proyecto se ha completado el estudio del péndulo en todas sus fases; es decir, partiendo desde el reposo (posición vertical inferior) hasta su posición vertical superior.

RESPECTO AL CONTROL IMPLEMENTADO.

En el presente proyecto se presenta el concepto de control de energía y por los resultados obtenidos en el tercer capítulo se demuestra cuan robusta es ésta estrategia para producir el balanceo y levantamiento del péndulo.

El sistema de control desarrollado utiliza una combinación de las técnicas de diseño lineales (Regulador de Posición) y de las técnicas de diseño no lineales (Control de Energía) con lo cual se cubre una gran parte del análisis de sistemas de control.

En el modelo matemático del péndulo se hicieron algunas consideraciones, entre las cuales está la eliminación de los coeficientes de fricción existentes, acercando el sistema a un caso ideal en el cual la energía del péndulo converge a la deseada (E_D). En la aplicación práctica de este sistema será necesario incluir una compensación de energía (Offset), debido al desgaste de la misma en la fricción existente en el sistema mecánico, esta compensación deberá ser añadida a la energía deseada a la cual se desea que converja el péndulo.

Como se demuestra en el tercer capítulo mediante los resultados obtenidos, el control de energía hace que el péndulo sea llevado a una curva de energía constante propuesta por el usuario (Energía deseada); es decir, que la energía del péndulo converge a la deseada sin importar la condición inicial de partida del

sistema. Luego mediante el regulador de posición se captura al péndulo para ser llevado a su punto de equilibrio superior.

En el capítulo tres "Simulaciones y Resultados", se indican algunos gráficos de las señales de control que se aplican al sistema, para el caso del regulador de posición esta señal es una fuerza aplicada al carro, en el control de energía, la señal utilizada es la aceleración del carro, la cual, como ya se anotó, para la implementación práctica del sistema debe ser traducida en una fuerza (Ecuación 1.4.8) que será aplicada al carro.

Por último, y de manera general se debe decir que se ha cumplido con las metas y objetivos propuestos, desarrollando un análisis matemático en el cual se demuestra todo el modelo del sistema de control propuesto en el tema del proyecto; además, se entrega un programa desarrollado en MATLAB que confirma y ratifica lo dicho.

Bibliografía

BIBLIOGRAFÍA

- [1] ASTRÖM K. J., FURUTA K., "Swinging up Pendulum by Control Energy", Proceedings IFAC of the 13th Triennial World Congress, San Francisco, U.S.A., June 1996, pp. 37-42.
- [2] BROGAN William, Richard, "Modern Control Theory", Third Edition, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 1991.
- [3] CHUNG C., HAUSER J., "Nonlinear Control of a Swinging Pendulum", Automatica Vol. 31, No. 6, Printed in Great Britain, 1995 pp 851-852.
- [4] DARES Wells, Ph. D., "Teoria y Problemas de Dinámica de Lagrange", Serie de compendios Schaum Macgraw-Hill, México 1972.
- [5] DORF, Richard, "Sistemas Modernos de Control", Addison-Wesley Iberoamericana, Cuarta Edición, U.S.A. 1989.
- [6] FIERRO R., LEWIS F., LOWE A., "A Hybrid Control Approach for a Class of Underactuated Mechanical Systems", Proceedings of the 12th IEEE Internacional Symposium on Intelligent Control, Istanbul, Turkey, July 1997, pp. 367-372.
- [7] GENE F., POWELL D., WORKMAN M., "Digital Control of Dynamic Systems", Third Edition, Addison-Wesley Longman, Menlo Park, 1997.
- [8] GUEVARA P., ZAPATA G., "Diseño y Construcción de un Péndulo Invertido estabilizante en la Posición vertical Superior", Tesis, EPN, 1999.
- [9] KUO, Benjamín, "Sistemas de Control Automático", Prentice Hall, Hispanoamericana, Séptima Edición, México 1996.

- [10] LIN C. E., SHEU Y. R., "A Hybrid-Control Approach for Pendulum-Car Control", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 39 No. 3, June 1992, pp. 208-214.
- [11] MALMBORG J., BERNHARDSSON B., ASTRÖM K. J., "A Stabilizing Scheme for Multi Controller Systems", Proceedings of the 13th Triennial World Congress, San Francisco, U.S.A. 1996, pp. 229-334.
- [12] MONTALVAN Gonzalo, "Estudio del Péndulo Invertido y simulación Dinámica Mediante un Programa para Windows", Tesis, EPN, 1994.
- [13] OGATA, Katsuhiko, "Ingeniería de Control Moderna", Prentice Hall, Hispanoamericana, Segunda Edición, México 1993.
- [14] SLOTINE J., LI W., "Applied Nonlinear Control", Prentice Hall, Englewood Cliffs, U.S.A. 1991.
- [15] SPONG Mark, "Energy based Control of a Class of Underactuated Mechanical Systems", Proceedings IFAC of the 13th Triennial World Congress, San Francisco, U.S.A.

Referencias Adicionales:

Ayuda en Línea de MATLAB Versión 5.3.

<http://www.anu.edu.au:80/Physics/courses/CP/pendulum.html>

<http://segre.upc.es/nllab/pendulum-es.html>

<http://harpo.isa.uma.es/eugenio/ctm/es/hometext.htm>

<http://harpo.isa.uma.es/eugenio/ctm/es/examples/pend/invpen.htm>

<http://harpo.isa.uma.es/eugenio/ctm/es/gui/pend/invgui.htm>

Anexo A

MANUAL DE USUARIO

A.- MANUAL DE USUARIO

El programa se desarrolló en la versión 5.3 de MATLAB, por lo tanto para su buen funcionamiento es necesario disponer de un PC con esta versión instalada.

Antes de proceder a correr el programa, se debe realizar su instalación, copiando toda la carpeta "PENDULO" en la carpeta "WORK" de MATLAB, a continuación se debe establecer la ruta de trabajo, seleccionando con el ratón (mouse) el ícono "Path Browser" de la barra de menús en la pantalla de comandos de MATLAB, con lo cual aparece una ventana en donde se debe buscar y seleccionar la carpeta "PENDULO".

Para comprobar que la ruta de trabajo sea la correcta se puede escribir en la pantalla de comandos de MATLAB la siguiente instrucción:

```
>>cd
```

luego de lo cual y al presionar la tecla "enter" debe aparecer en la pantalla el siguiente resultado:

```
C:\MATLABR11\work\PENDULO
```

INGRESO AL PROGRAMA.

Para comenzar a utilizar el programa se debe ingresar a MATLAB y escribir en la pantalla de comandos la palabra:

```
>>presentacion
```

Con lo cual se inicia el programa y aparece la primera pantalla (Figura A1).

INGRESO DE DATOS

PENDULO INVERTIDO: INGRESO DE DATOS

Archivo Operaciones Ayuda

DATOS DEL SISTEMA

Masa del Péndulo: 2.500 Kg Masa del Carro: 2.000 Kg Longitud del Péndulo: 0.6 m

Aceleración de la Gravedad: 9.8 m/s² Energía deseada (Máx: mgl): 0.12 J

CONDICIONES INICIALES

Posición Angular: θ : 0.900 Grados
Velocidad Angular: ω : 0.000 rad/s
Posición del Carro: x_c : 0.000 m
Velocidad del Carro: v_c : 0.000 m/s

Control de Energía
 Regulador de Posición
 Control Híbrido

Tiempo de simulación: 0.5 s

< Salir > Reset << Atras Cont. >>

Figura A2.- Pantalla de ingreso de datos.

En esta pantalla (Figura A2), se definen los parámetros de la simulación como son:

Masa del carro.- La cual está dada en kilogramos y puede ser máximo igual a 4 Kg.

Masa del péndulo.- Está dada en kilogramos y puede ser máximo igual a 2 Kg.

Longitud del péndulo.- Está dada en metros y puede ser máximo igual a 1 m.

Condiciones iniciales:

Posición angular inicial.- Este valor debe ser ingresado en grados tomando como referencia que 0° corresponde a la posición vertical superior, y es por esto que el valor por defecto siempre será 180° , ya que el péndulo está en la posición de reposo.

Al tener un ángulo inicial de 0° , el control híbrido y por lo tanto el regulador de posición no desarrollan acción alguna sobre el péndulo, y por lo tanto no se observará ningún movimiento del péndulo, entonces; no se permite ingresar el valor de 0° como ángulo inicial.

Velocidad angular inicial.- Valor dado en radianes por segundo y será máximo igual a 3 rad/s y como mínimo -3 rad/s.

Posición inicial del carro.- Está dada en metros y puede ser máximo igual a 1 m y como mínimo -1 m.

Velocidad inicial del carro.- Está dada en metros por segundo y puede ser máximo igual a 1.5 m/s y mínimo -1.5 m/s.

En esta misma pantalla se puede elegir el tipo de control a realizar entre las siguientes posibilidades:

Regulador de Posición.- Al seleccionar esta opción, el programa desarrolla la simulación para el regulador de posición, por lo tanto el ángulo inicial debe estar en un valor menor que 32° , caso contrario aparecerá una pantalla de error.

Control de Energía.- El programa simula el balanceo del péndulo, llevándolo hasta un ángulo máximo que depende del valor de energía máxima.

Control Híbrido.- Se simula el control completo para el sistema, en cual el péndulo es llevado hasta su posición vertical superior.

Aceleración de la gravedad.- La cual está dada en metros por segundo al cuadrado y en todos los casos su valor será 9.8 m/s^2 .

Energía máxima deseada (H_D).- Al elegir la opción: Control de Energía o Control Híbrido, éste parámetro es de mucha importancia para la simulación, ya que de su valor dependen los resultados que se obtengan. La energía máxima que se puede ingresar será la correspondiente a la posición vertical del péndulo, y puede ser calculada con la siguiente formula:

$$H_D = l_p \cdot m_p \cdot g$$

El programa permite que este cálculo sea hecho en forma automática, el cual se ejecuta al ingresar todos los parámetros.

También es posible ingresar un valor de energía deseada menor que el máximo obtenido por medio de la formula anterior, con lo cual el péndulo será llevado a éste nivel de energía sin importar la condición inicial del sistema.

Tiempo de simulación.- Es el tiempo que queremos que dure la simulación del control, y por lo tanto no se permite el ingreso de un tiempo igual a 0 s.

Al ingresar a esta pantalla siempre aparecerán los valores por defecto, el programa permite guardar en una de las 5 memorias con las que cuenta los datos ingresados y así poder recuperarlos en pantalla en cualquier momento. Para ello en el menú *Archivo* se elige la opción *Guardar datos*, luego de esto aparecerá una ventana (Figura A3), en la cual se puede escoger uno de los cinco archivos en donde se guardarán estos datos.



Figura A3.- Pantalla para guardar datos.

Para recuperar datos almacenados en memoria se debe activar el menú *Archivo* y se elige la opción *Abrir datos*, con lo cual aparecerá una ventana (Figura A4), de donde se recuperarán los datos del archivo que elija el usuario.

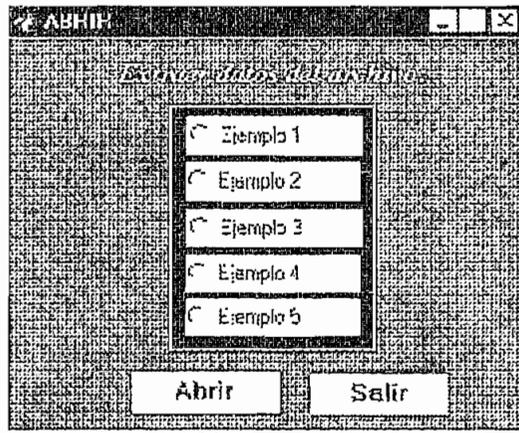


Figura A4.- Pantalla para recuperar datos.

Tanto el menú *Opciones* como los botones situados en la parte baja de esta pantalla ejecutan las siguientes acciones:

Salir: Sale del programa hacia la pantalla principal de MATLAB.

Reset: Devuelve a la pantalla los parámetros por defecto del programa.

Atrás: Regresa a la pantalla de presentación del programa.

Continuar: Continúa con la simulación.

Restricciones en el ingreso de datos:

En la pantalla ingreso de datos, solo se permitirá valores que estén dentro de los siguientes rangos para cada una de las variables existentes, en caso de que uno de los valores no cumpla estas condiciones aparecerá una pantalla de error:

Masa del péndulo: 0 Kg < m < 2 Kg

Masa del carro: 0 Kg < M < 4 Kg

Se considera que: $M > 2*m$ (como mínimo).

Longitud del péndulo: $0 \text{ m} < l_p < 1 \text{ m}$

Angulo inicial del péndulo: $\theta \neq 0^\circ$

Velocidad angular: $-3 \text{ rad/s} < \omega < 3 \text{ rad/seg}$

Posición del carro: $-1 \text{ m} < X_c < 1 \text{ m}$

Velocidad del carro: $-1.5 \text{ m/s} < V_c < 1.5 \text{ m/s}$

Energía deseada (Máx: $m \cdot g \cdot l_p$): $H_D \neq 0 \text{ J}$

Tiempo de simulación: $t \neq 0 \text{ s}$

SIMULACIÓN

Siguiendo con el programa se tiene la pantalla de simulación (Figura A5) en la cual, una vez realizados los cálculos con los datos ingresados en la pantalla anterior, se puede observar la animación gráfica del péndulo de acuerdo al control elegido.

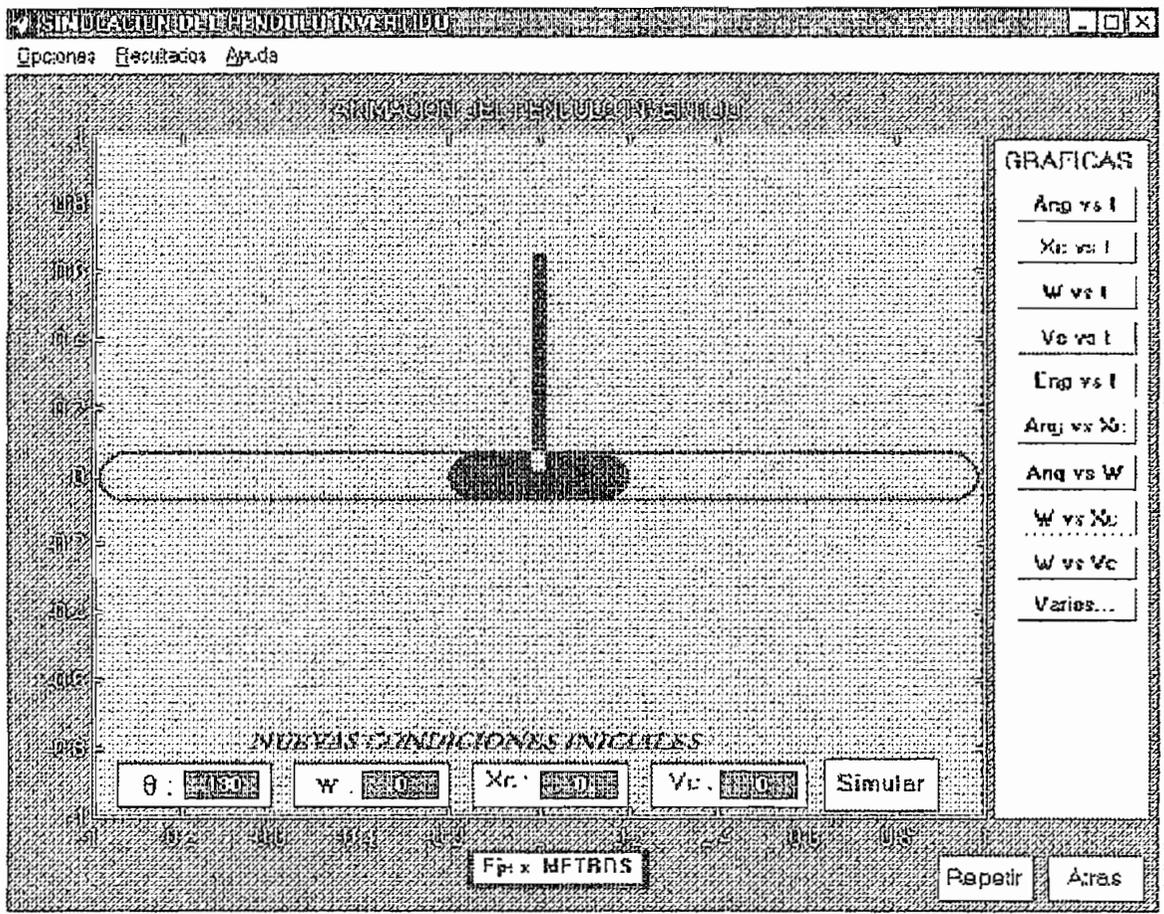


Figura A5.- Pantalla para ingreso de datos.

En esta pantalla tanto el menú *Opciones* como los botones presentes en la parte baja de la misma ejecutan las siguientes acciones:

Repetir: Repite la animación gráfica del péndulo con los datos calculados en la última simulación realizada.

Simular: Permite una nueva simulación del control cambiando las condiciones iniciales del problema, las cuales se ingresan en las casillas de texto editable que se encuentran en la parte baja de la pantalla.

Atrás: Regresa a la ventana anterior, para ingresar nuevos datos.

La barra de menús de esta pantalla posee la etiqueta "Resultados" que al activarla con el ratón, aparecen las siguientes opciones:

Gráficos de los Estados: Mediante este submenú se puede obtener las siguientes gráficas:

- Angulo vs tiempo.
- Velocidad angular vs tiempo.
- Posición del carro vs tiempo.
- Velocidad del carro vs tiempo.
- Energía vs tiempo.

Trayectorias de Fase: Al activar éste submenú se puede obtener los siguientes gráficos:

- Angulo vs velocidad angular.
- Angulo vs posición del carro.
- Posición del carro vs tiempo.
- Velocidad angular vs posición del carro.
- Velocidad angular vs velocidad del carro.

Señales de Control.- Mediante esta opción, se pueden obtener los gráficos de las señales de control aplicadas al sistema péndulo-carro.

Varios gráficos: Permite observar varios de los gráficos antes mencionados a la vez (Figura A6). Se dibujan todos los gráficos que el usuario elija.



Figura A6.- Pantalla Opciones de Graficación.

Estas opciones de graficación también pueden realizarse desde la pantalla de simulación con los botones situados en la parte derecha de la misma.

Resultados Numéricos: Permite observar tablas de datos que obedecen a los resultados obtenidos en la simulación.

GRAFICOS DE LOS RESULTADOS

Al graficar los resultados de la simulación aparecerá una pantalla (Figura A7) en la cual se muestran estos gráficos; como se ve en la figura, al hacer un clic con el botón derecho del ratón (mouse) aparecerá un submenú con las siguientes opciones:

Máximo: Ubica el punto máximo de la curva y devuelve su valor tanto en la gráfica como en los cuadros de texto, situados al lado derecho de la misma.

Mínimo: Ubica el punto mínimo de la curva y devuelve su valor tanto en la gráfica como en los cuadros de texto, situados al lado derecho de la misma.

Ubicar punto: Ubica un punto en la curva, el cual es señalado por el usuario con el ratón (mouse) y devuelve su valor tanto en la gráfica como en los cuadros de texto situados al lado derecho de la misma.

Activar Divisiones: Dibuja líneas de división en la gráfica tanto en el eje X como en el eje Y.

Desactivar Divisiones: Borra las líneas de división de la gráfica tanto en el eje x como en el eje y.

Acercar: Habilita y deshabilita la opción de hacer un acercamiento a un recuadro elegido por el usuario.

Alejar: Aleja la vista obtenida al hacer un acercamiento.

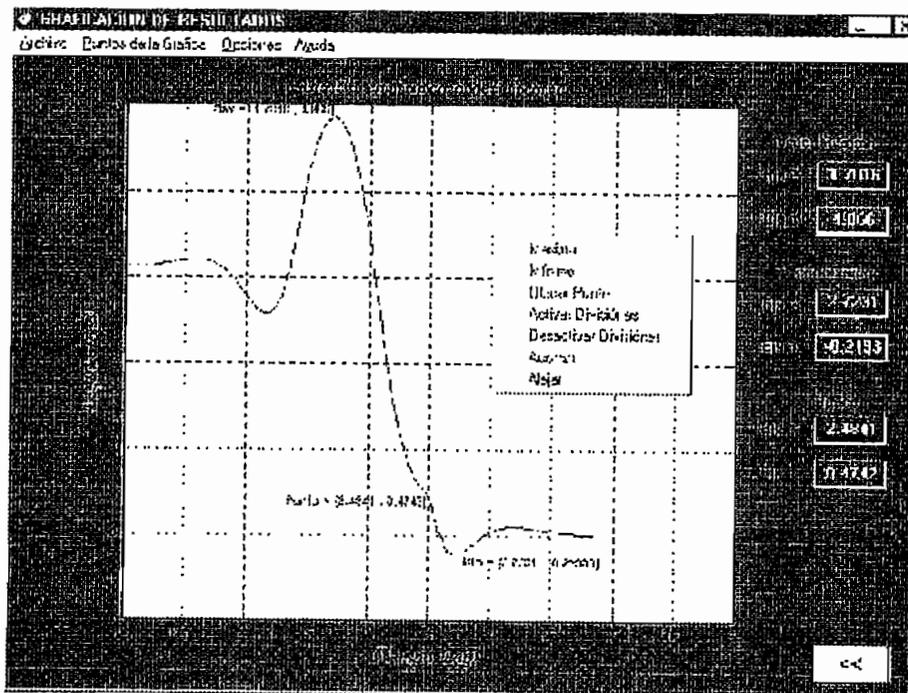


Figura A7.- Pantalla de presentación de resultados

Para una mejor guía del usuario, cada pantalla incluye un menú de ayuda el cual puede ser desplegado en cualquier momento, y de esta forma obtener una información detallada del funcionamiento del programa.

Anexo *B*

**ALGORÍTMOS DE SIMULACIÓN PARA EL
AJUSTE DE LOS CONTROLES**

B.-ALGORÍTMOS DE SIMULACIÓN PARA EL AJUSTE DE LOS CONTROLES.

B 1.- CONTROL DE ENERGÍA.

%SIMULACIÓN DEL CONTROL DE ENERGÍA.

```
close all
% Datos del sistema péndulo-carro
g = 9.8;
m = 0.2;
M = 0.5;
lp = 0.6;
L = lp/2;

% Condiciones para la simulación
wc = 0.4; % Parámetro variable para cada simulación
K = 2;
Ho = 0.5; % Energía inicial del péndulo
Hd = 1.2; % Energía deseada final del péndulo
Jp=m*(L^2); % Inercia rotacional del péndulo
tsimu = 10; % Tiempo de simulación
Xo = [ 0 0 0 0]'; % Vector de condiciones iniciales

Xo(1) =acos((1/(m*g*L))*( (0.5*Jp*(Xo(2))^2)-Ho + m*g*L)) % Cálculo
%del ángulo inicial en base
%a la energía inicial del péndulo

save datos; % Salva los datos que se utilizarán en otro
algoritmo
tspan=[0 tsimu];
[T,X]=ode45('ecua',tspan,Xo);
[f,r]=size(X);
H=zeros(f,1);
u=zeros(f,1);

for z=1:f % Lazo para el cálculo de la energía y señal de control.
    e=(0.5*Jp*(X(z,2))^2 + m*g*L + m*g*L*cos(X(z,1)));
    H(z)= e;
    U=K*X(z,2)*cos(X(z,1))*(H(z)-Hd) - (2*wc*X(z,4) + wc^2*X(z,3));
    u(z)= U;
end
save datos
subplot (2,1,1);
plot (T,H); % Gráfica: energía vs. tiempo.
xlabel ('Tiempo');
ylabel('Energía del Péndulo');
title('Energía inicial = 0.9 y wc = 1.2');
subplot(2,1,2);
plot (T,u);
xlabel ('Tiempo');
ylabel('Señal de control u');
```

```
%SOLUCIÓN DE LAS ECUACIONES DIFERENCIALES
```

```
function dx = ecua(t,x);
```

```
load datos; % Carga los datos del péndulo.
```

```
dx =zeros (4,1);
```

```
dx(1) = x(2);
```

```
dx(2) = ((m*g*L)*sin(x(1)))/(Jp))-  
(m*L*(cos(x(1)))/(Jp))*(K*x(2)*cos(x(1))*(0.5*Jp*x(2)^2 + m*g*L +  
m*g*L*cos(x(1))-Hd) - (2*wc*x(4)+wc^2*x(3)));
```

```
dx(3) = x(4);
```

```
dx(4) = K*x(2)*cos(x(1))*(0.5*Jp*x(2)^2 + m*g*L + m*g*L*cos(x(1))-Hd) -  
(2*wc*x(4)+wc^2*x(3));
```

B2.- REGULADOR DE POSICIÓN.

```
%Simulación del control de posición del péndulo.

close all

%Datos del sistema péndulo-carro.

g = 9.8;
m = 0.2;
M = 0.5;
lp = 0.6;
L = 0.3;           % Longitud al centro de masa del péndulo.
Jp = m*(L^2);     % Inercia rotacional del péndulo.

A=zeros(4,4);
A(1,2) = 1;
A(3,4) = 1;
A(2,1) = ((m + M)*g)/(M*L);
A(4,1) = -m*g/M;

B = zeros(4,1);
B(2,1) = -1/(M*L);
B(4,1) = 1/M;
C = [1 0 0 0;
     0 0 1 0];
D = [0;
     0];
Q = [1 0 0 0;      % Matriz variable para cada simulación.
     0 0 0 0;
     0 0 10 0;
     0 0 0 0];
R = [0.01];
k = lqr(A,B,Q,R); %Cálculo del vector de realimentación

Ac = [(A-B*k)];
Bc = [B];
Cc = [C];
Dc = [D];
T = 0:0.01:5 ;      %Tiempo de simulación.
U = 0.2*ones ( size(T)); %Señal paso para la entrada.
[ Y, X ] = lsim ( Ac,Bc,Cc,Dc,U,T); %Función de simulación.
plot (T,Y);
%Graficación del ángulo y posición vs. tiempo.
xlabel('Tiempo');
title('Respuesta paso para el regulador de posición');
```

Anexo C

CÓDIGO FUENTE DEL PROGRAMA

C.- CÓDIGO FUENTE DEL PROGRAMA

A continuación se detalla en orden alfabético el código fuente de cada uno de los archivos.m utilizados en el programa.

```
function abrarchivo()

load guarda;
load arch;
v1= findobj('tag','ejmp1');
ex1 = get(v1,'value');
v2= findobj('tag','ejmp2');
ex2 = get(v2,'value');
v3= findobj('tag','ejmp3');
ex3 = get(v3,'value');
v4= findobj('tag','ejmp4');
ex4 = get(v4,'value');
v5= findobj('tag','ejmp5');
ex5 = get(v5,'value');
if ex1==1
    load ejemplo1 m M l L g Hd Xo eng regul hibri tsimu;
elseif ex2==1
    load ejemplo2 m M l L g Hd Xo eng regul hibri tsimu;
elseif ex3==1
    load ejemplo3 m M l L g Hd Xo eng regul hibri tsimu;
elseif ex4==1
    load ejemplo4 m M l L g Hd Xo eng regul hibri tsimu;
elseif ex5==1
    load ejemplo5 m M l L g Hd Xo eng regul hibri tsimu;
end
    set(hmc,'string',num2str(M));
    set(hmp,'string',num2str(m));
        set(hlp,'string',num2str(l));
    set(hgrav,'string',num2str(g));
    set(heng,'string',num2str(Hd));
    Xo(1)=Xo(1)*180/pi;
        set(hang,'string',num2str(Xo(1)));
    set(hw,'string',num2str(Xo(2)));
    set(hxc,'string',num2str(Xo(3)));
    set(hvc,'string',num2str(Xo(4)));
    set(htiempo,'string',num2str(tsimu));
    if eng == 1
        set(hr1,'value',1);
        set(hr2,'value',0);
        set(hr3,'value',0);
    elseif regul == 1
        set(hr1,'value',0);
        set(hr2,'value',1);
        set(hr3,'value',0);
    elseif hibri == 1
        set(hr1,'value',0);
        set(hr2,'value',0);
        set(hr3,'value',1);
    end
end
close;
```

```
function fig = abrir()
```

```
% This is the machine-generated representation of a Handle Graphics
object
% and its children. Note that handle values may change when these
objects
% are re-created. This may cause problems with any callbacks written to
% depend on the value of the handle at the time the object was saved.
% This problem is solved by saving the output as a FIG-file.
%
% To reopen this object, just type the name of the M-file at the MATLAB
% prompt. The M-file and its associated MAT-file must be on your path.
%
% NOTE: certain newer features in MATLAB may not have been saved in this
% M-file due to limitations of this format, which has been superseded by
% FIG-files. Figures which have been annotated using the plot editor
tools
% are incompatible with the M-file/MAT-file format, and should be saved
as
% FIG-files.
```

```
h0 = figure('Color',[0.137254901960784 0.349019607843137
0.52156862745098], ...
'FileName','D:\koki\tesis_pruebas\abrir.m', ...
'MenuBar','none', ...
'Name','ABRIR', ...
'resize','off',...
'windowstyle','modal',...
'NumberTitle','off', ...
'PaperPosition',[18 280 200 200], ...
'PaperUnits','points', ...
'Position',[280 148 288 224], ...
'Tag','Fig5', ...
'ToolBar','none', ...
'DefaulttextColor',[1 1 1], ...
'DefaultaxesXColor',[1 1 1], ...
'DefaultaxesYColor',[1 1 1], ...
'DefaultaxesZColor',[1 1 1], ...
'DefaultpatchFaceColor',[1 1 1], ...
'DefaultpatchEdgeColor',[0 0 0], ...
'DefaultsurfaceEdgeColor',[0 0 0], ...
'DefaultlineColor',[1 1 1], ...
'DefaultaxesColor',[0 0.2 0.2]);
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
'Callback','close', ...
'FontSize',10, ...
'FontWeight','bold', ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[126.75 6 58.5 18.75], ...
'String','Salir', ...
'Tag','Pushbutton1');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0 0 0.627450980392157], ...
'Enable','off', ...
```

```

        'ForegroundColor', [0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
        'ListboxTop', 0, ...
        'Position', [67.5 33.75 87 105.75], ...
        'Style', 'Pushbutton', ...
        'Tag', 'Frame1');
hl = uicontrol('Parent', h0, ...
    'Units', 'points', ...
    'BackgroundColor', [0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'Callback', 'abrarchivo', ...
    'FontSize', 10, ...
    'FontWeight', 'bold', ...
    'ListboxTop', 0, ...
    'Position', [51.75 6.75 63 18.75], ...
    'String', 'Abrir', ...
    'Tag', 'Pushbutton1');
hej1 = uicontrol('Parent', h0, ...
    'Units', 'points', ...
    'BackgroundColor', [0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'Callback', 'Ejemplo1', ...
    'ListboxTop', 0, ...
    'Position', [75 118.5 73.5 16.5], ...
    'String', 'Ejemplo 1', ...
    'Style', 'radiobutton', ...
    'value', 1, ...
    'Tag', 'ejmp1');
hej5 = uicontrol('Parent', h0, ...
    'Units', 'points', ...
    'BackgroundColor', [0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'Callback', 'Ejemplo5', ...
    'ListboxTop', 0, ...
    'Position', [74.25 40.5 73.5 16.5], ...
    'String', 'Ejemplo 5', ...
    'Style', 'radiobutton', ...
    'Tag', 'ejmp5');
hej2 = uicontrol('Parent', h0, ...
    'Units', 'points', ...
    'BackgroundColor', [0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'Callback', 'Ejemplo2', ...
    'ListboxTop', 0, ...
    'Position', [74.25 99 73.5 16.5], ...
    'String', 'Ejemplo 2', ...
    'Style', 'radiobutton', ...
    'Tag', 'ejmp2');
hej3 = uicontrol('Parent', h0, ...
    'Units', 'points', ...
    'BackgroundColor', [0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'Callback', 'Ejemplo3', ...
    'ListboxTop', 0, ...
    'Position', [75 78.75 73.5 16.5], ...
    'String', 'Ejemplo 3', ...
    'Style', 'radiobutton', ...
    'Tag', 'ejmp3');
hej4 = uicontrol('Parent', h0, ...
    'Units', 'points', ...

```

```

        'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
        'Callback','Ejemplo4', ...
        'ListboxTop',0, ...
        'Position',[74.25 59.25 73.5 16.5], ...
        'String','Ejemplo 4', ...
        'Style','radiobutton', ...
        'Tag','ejmp4');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
        'Units','points', ...
        'BackgroundColor',[0.137254901960784 0.349019607843137
0.52156862745098], ...
        'ListboxTop',0, ...
        'FontAngle','italic', ...
        'FontName','Vardana', ...
        'FontSize',12, ...
        'FontWeight','bold', ...
        'ListboxTop',0, ...
        'ForegroundColor',[0.768627450980392 0.768627450980392
0.768627450980392], ...
        'Position',[45.5 147 130 13.5], ...
        'String','Extraer datos del archivo:', ...
        'Style','text', ...
        'Tag','StaticText1');
save guarda;
if nargout > 0, fig = h0; end

```

```
function fig = acerca()
```

```

% This is the machine-generated representation of a Handle Graphics
object
% and its children. Note that handle values may change when these
objects
% are re-created. This may cause problems with any callbacks written to
% depend on the value of the handle at the time the object was saved.
% This problem is solved by saving the output as a FIG-file.
%
% To reopen this object, just type the name of the M-file at the MATLAB
% prompt. The M-file and its associated MAT-file must be on your path.
%
% NOTE: certain newer features in MATLAB may not have been saved in this
% M-file due to limitations of this format, which has been superseded by
% FIG-files. Figures which have been annotated using the plot editor
tools
% are incompatible with the M-file/MAT-file format, and should be saved
as
% FIG-files.

```

```
load acerca
```

```

h0 = figure('Color',[0.137254901960784 0.349019607843137
0.52156862745098], ...
        'Colormap',mat0, ...
        'FileName','C:\Mis documentos\tesis_pruebas\acerca.m', ...
        'resize','off',...
        'windowstyle','modal',...
        'MenuBar','none', ...
        'NumberTitle','off', ...
        'PaperPosition',[18 180 576 432], ...

```

```

        'PaperUnits', 'points', ...
        'Position', [280 148 282 293], ...
        'Tag', 'Fig1', ...
        'ToolBar', 'none');
h1 = uicontrol('Parent', h0, ...
    'Units', 'points', ...
    'BackgroundColor', [0.768627450980392 0.768627450980392
0.768627450980392], ...
    'ListboxTop', 0, ...
    'Position', [13.5 128.25 184.5 76.5], ...
    'Tag', 'Pushbutton2');
h1 = uicontrol('Parent', h0, ...
    'Units', 'points', ...
    'BackgroundColor', [0.768627450980392 0.768627450980392
0.768627450980392], ...
    'FontAngle', 'italic', ...
    'FontName', 'Vardana', ...
    'FontSize', 12, ...
    'FontWeight', 'bold', ...
    'ListboxTop', 0, ...
    'Position', [19.5 184.5 174 15], ...
    'String', 'Simulación de un Control Híbrido', ...
    'Style', 'text', ...
    'Tag', 'StaticText1');
h1 = uicontrol('Parent', h0, ...
    'Units', 'points', ...
    'BackgroundColor', [0.768627450980392 0.768627450980392
0.768627450980392], ...
    'FontName', 'Tahomaf', ...
    'FontSize', 12, ...
    'FontWeight', 'light', ...
    'ListboxTop', 0, ...
    'Position', [73.5 148.5 67.5 15.75], ...
    'String', 'Versión 1.0', ...
    'Style', 'text', ...
    'Tag', 'StaticText1');
h1 = uicontrol('Parent', h0, ...
    'Units', 'points', ...
    'BackgroundColor', [0.768627450980392 0.768627450980392
0.768627450980392], ...
    'FontWeight', 'demi', ...
    'ListboxTop', 0, ...
    'Position', [78 136.5 62.25 9], ...
    'String', '15 - 07 - 2001', ...
    'Style', 'text', ...
    'Tag', 'StaticText1');
h1 = uicontrol('Parent', h0, ...
    'Units', 'points', ...
    'BackgroundColor', [0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'Callback', 'close', ...
    'FontName', 'Ms', ...
    'FontSize', 12, ...
    'ListboxTop', 0, ...
    'Position', [51.75 28.5 108 21.75], ...
    'String', 'Aceptar', ...
    'Tag', 'Pushbutton1');
h1 = uicontrol('Parent', h0, ...
    'Units', 'points', ...

```

```

        'BackgroundColor', [0.137254901960784 0.349019607843137
0.52156862745098], ...
        'FontAngle', 'italic', ...
        'FontName', 'Tahomaf', ...
        'FontSize', 10, ...
        'FontWeight', 'demi', ...
        'ForegroundColor', [0.768627450980392 0.768627450980392
0.768627450980392], ...
        'ListboxTop', 0, ...
        'Position', [33 101.25 147 11.25], ...
        'String', 'JORGE CARRION MORALES', ...
        'Style', 'text', ...
        'Tag', 'StaticText1');
hl = uicontrol('Parent', h0, ...
        'Units', 'points', ...
        'BackgroundColor', [0.137254901960784 0.349019607843137
0.52156862745098], ...
        'FontSize', 10, ...
        'FontWeight', 'demi', ...
        'ForegroundColor', [0.768627450980392 0.768627450980392
0.768627450980392], ...
        'ListboxTop', 0, ...
        'Position', [25.5 79.5 153 11.25], ...
        'String', 'Escuela Politécnica Nacional', ...
        'Style', 'text', ...
        'Tag', 'StaticText1');
hl = uicontrol('Parent', h0, ...
        'Units', 'points', ...
        'BackgroundColor', [0.137254901960784 0.349019607843137
0.52156862745098], ...
        'FontSize', 10, ...
        'FontWeight', 'demi', ...
        'ForegroundColor', [0.768627450980392 0.768627450980392
0.768627450980392], ...
        'ListboxTop', 0, ...
        'Position', [51 62.25 108 12], ...
        'String', 'Electrónica y Control', ...
        'Style', 'text', ...
        'Tag', 'StaticText1');
hl = uicontrol('Parent', h0, ...
        'Units', 'points', ...
        'BackgroundColor', [0.768627450980392 0.768627450980392
0.768627450980392], ...
        'FontAngle', 'italic', ...
        'FontName', 'Vardana', ...
        'FontSize', 12, ...
        'FontWeight', 'bold', ...
        'ListboxTop', 0, ...
        'Position', [60 171 92.25 11.25], ...
        'String', 'Péndulo Invertido', ...
        'Style', 'text', ...
        'Tag', 'StaticText1');
if nargout > 0, fig = h0; end

```

```
function actualizar()
```

```
load arch;

m1=get(hmp,'string');
m1=str2num(m1);
l1=get(hlp,'string');
l1=str2num(l1);
g1=get(hgrav,'string');
g1=str2num(g1);
e1=m1*g1*l1;
set(heng,'string',e1);
```

```
function algoritmo();
```

```
load algoritmo
load datos1;
h = waitbar(0, '');
    h0 = uicontrol('Parent',h, ...
        'Units','normalized', ...
        'FontSize',9, ...
        'FontWeight','bold', ...
        'ListboxTop',0, ...
        'ForegroundColor',[0 0 0.6020], ...
        'Position',[ 0.330555555555556 0.56 0.4 0.226666666666667], ...
        'String','Por favor espere.....', ...
        'Style','text', ...
        'Tag','stextmc');
    h1 = uicontrol('Parent',h, ...
        'Units','points', ...
        'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
        'Callback','cancelar', ...
        'ListboxTop',0, ...
        'Position',[108.5 0.1 56.25 15], ...
        'String','Cancelar', ...
        'Tag','Pushbutton1');
% mide la velocidad del PC
tic;
for v=1:50000;
    v=v+1;
end
velo=toc;
save velocidad velo
a=0;
save canc

for i=1:(100*tsimu); % aqui hace los calculos %
    waitbar(i/(100*tsimu));
    load canc a
    if a==1
        i=500*tsimu;
        break
    end
end
load canc
if a==0
```

```

        close(h)

wc = 0.8;
K = 1/(0.425*m*lp*g);
Jp=m*(L^2);          % Inercia rotacional del péndulo
save datos1;
if eng == 1;          % Comprueba si el control es de energía
    valor =0;
    seteo=1;
    tspan=[0 tsimu];
    [T,X]=ode45('ecua',tspan,Xo);
    [f,r]=size(X);
    h=zeros(f,1);
    u=zeros(f,1);
    F=zeros(f,1);
    for z=1:f
        e=0.5*Jp*(X(z,2))^2 + m*g*L*(1 + cos(X(z,1)));
        h(z)= e;
        U=K*X(z,2)*cos(X(z,1))*(h(z)-Hd) - (2*wc*X(z,4) +
wc^2*X(z,3));
        u(z)= U;
        F(z)=(M+m*(sin(X(z,1)))^2)*u(z) +
m*g*sin(X(z,1))*cos(X(z,1)) - m*L*((X(z,2))^2)*sin(X(z,1));
    end
elseif regul ==1
    valor =1;
    seteo=0;
    A=zeros(4,4);
    A(1,2)=1;
    A(3,4)=1;
    A(2,1)= ((m + M)*g)/(M*L);
    A(4,1) = -m*g/M;

    B=zeros(4,1);
    B(2,1) = -1/(M*L);
    B(4,1) = 1/M;

    C=[1 0 0 0;
    0 0 1 0];
    D=[0;
    0];
    Q = [1 0 0 0;
    0 0 0 0;
    0 0 10 0;
    0 0 0 0];

R=[0.01];
K=lqr(A,B,Q,R);

save REGUL ;          %salva matriz de realimentación K

Ac=[(A-B*K)];
Bc=[B];
Cc=[C];
Dc=[D];
tspan=[0 tsimu];
[T,X]=ode45('ecua',tspan,Xo);
[f,r]=size(X);
    for z=1:f
        e=0.5*Jp*(X(z,2))^2 + m*g*L*(1+cos(X(z,1)));
        h(z)= e;

```

```

        F(z)=-K*[X(z,:)]';
    end
    save REGUL ;           %salva matriz de realimentación K
    save regulador;

elseif hibri == 1
    valor =0;
    tsimu=tsimu; %/2;    %tomo la mitad del tiempo de simulación
para cada control
    seteo=1;
    tspan=[0 tsimu];
    eng = 1;
    regul = 0;
    hibri=0;
    save datos1
    [T1,X1]=ode45('ecua',tspan,Xo);
    [f,r]=size(X1);
    for z=1:f
        if abs(X1(z,1)) < 0.5585 | X1(z,1) > (2*pi-0.5585);
            angmin=X1(z,1);
            f=z;
            alcance=1;
            break
        else
            alcance=0;
        end
    end
    h1=zeros(f,1);
    u=zeros(f,1);
    for z=1:f
        e=0.5*Jp*(X1(z,2))^2 + m*g*L*(1 + cos(X1(z,1)));
        h1(z)= e;
        U=K*X1(z,2)*cos(X1(z,1))*(h1(z)-Hd) - (2*wc*X1(z,4) +
wc^2*X1(z,3));
        u(z)= U;
        end
        if alcance == 1
            Xo=X1(f,:);
            if Xo(1) > 0.5585
                Xo(1) = (Xo(1)-2*pi);
            end
            eng = 0;
            regul = 1;
            hibri= 0;
            save datos1;

            A=zeros(4,4);
            A(1,2)=1;
            A(3,4)=1;
            A(2,1)= ((m + M)*g)/(M*L);
            A(4,1) = -m*g/M;

            B=zeros(4,1);
            B(2,1) = -1/(M*L);
            B(4,1) = 1/M;

            C=[1 0 0 0;
              0 0 1 0];
            D=[0;
              0];

```

```

        Q = [1 0 0 0;
             0 0 0 0;
             0 0 10 0;
             0 0 0 0];
    R=[0.01];

    K=lqr(A,B,Q,R);

    save REGUL ;           %salva matriz de
realimentación K

    Ac=[(A-B*K)];
    Bc=[B];
    Cc=[C];
    Dc=[D];
    tspan=[0 tsimu];
    [T2,X2]=ode45('ecua',tspan,Xo);
    [q,y] = size(X2);
    tf1=T1(f);
    h2=zeros(q,1);
    for z=1:q
        e=0.5*Jp*(X2(z,2))^2 + m*g*L*(1+cos(X2(z,1)));
        h2(z)= e;
        F(z)=-K*[X2(z,:)]';
    end
    for o=1:q;
        if X1(f,1)>pi/2;
            X2(o,1)=2*pi + X2(o,1);
        end
        T2(o)=tf1+T2(o);
    end
    for o=1:q;
    if T2(o)>tsimu;
        k = o-1;
        break
    else
        k=q;
        end
    end

    T1=T1(1:f);
    h1=h1(1:f);
    x1=X1(:,1);
    x2=X1(:,2);
    x3=X1(:,3);
    x4=X1(:,4);
    X1=[x1(1:f),x2(1:f),x3(1:f),x4(1:f)]; %recorta la matriz
X1 de energía.

    %%%%%%%%%
    x11=X2(:,1);
    x22=X2(:,2);
    x32=X2(:,3);
    x42=X2(:,4);
    X2=[x11(1:k),x22(1:k),x32(1:k),x42(1:k)];
    X=[X1;X2];
    h=[h1;h2(1:k)];
        T=[T1;T2(1:k)];
elseif alcance==0
    h=h1;
    X=X1;

```

```

        T=T1;
    end
    save REGUL
end
save resultados;
save var;
save resnumer;
simula
end
if nargout > 0, fig = h0; end

```

function fig = ayudagraficos()

```

% This is the machine-generated representation of a Handle Graphics
object
% and its children. Note that handle values may change when these
objects
% are re-created. This may cause problems with any callbacks written to
% depend on the value of the handle at the time the object was saved.
% This problem is solved by saving the output as a FIG-file.
%
% To reopen this object, just type the name of the M-file at the MATLAB
% prompt. The M-file and its associated MAT-file must be on your path.
%
% NOTE: certain newer features in MATLAB may not have been saved in this
% M-file due to limitations of this format, which has been superseded by
% FIG-files. Figures which have been annotated using the plot editor
tools
% are incompatible with the M-file/MAT-file format, and should be saved
as
% FIG-files.

```

```
load ayudagraficos
```

```

h0 = figure('Color',[0.137254901960784 0.349019607843137
0.52156862745098], ...
    'Colormap',mat0, ...
    'FileName','D:\koki\Programa\ayudagraficos.m', ...
    'MenuBar','none', ...
    'Name','AYUDA: Gráficas de resultados', ...
    'NumberTitle','off', ...
    'PaperPosition',[18 180 576 432], ...
    'PaperUnits','points', ...
    'Position',[255 94 354 438], ...
    'RendererMode','manual', ...
    'Resize','off', ...
    'Tag','Fig1', ...
    'ToolBar','none');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.768627450980392 0.768627450980392
0.768627450980392], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[21 293.25 223.5 27], ...
    'Tag','Pushbutton2');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.768627450980392 0.768627450980392
0.768627450980392], ...

```

```

        'FontAngle','italic', ...
        'FontName','Vardana', ...
        'FontSize',12, ...
        'FontWeight','bold', ...
        'ListboxTop',0, ...
        'Position',[43.5 302.25 174 12], ...
        'String','Pantalla Resultados', ...
        'Style','text', ...
        'Tag','StaticText1');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'Callback','salir', ...
    'FontName','Ms', ...
    'FontSize',12, ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[152.25 5.25 77.25 16.5], ...
    'String','Salir', ...
    'Tag','Pushbutton1');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[1 1 1], ...
    'FontSize',10, ...
    'Position',[15.75 26.25 236.25 261], ...
    'String',mat1, ...
    'Style','listbox', ...
    'Tag','T', ...
    'UserData','[ ]', ...
    'Value',1);
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'Callback','close', ...
    'FontName','Ms', ...
    'FontSize',12, ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[43.5 5.25 79.5 17.5], ...
    'String','Regresar', ...
    'Tag','Pushbutton3');
if nargout > 0, fig = h0; end

```

```
function fig = ayudaindatos()
```

```

% This is the machine-generated representation of a Handle Graphics
object
% and its children. Note that handle values may change when these
objects
% are re-created. This may cause problems with any callbacks written to
% depend on the value of the handle at the time the object was saved.
% This problem is solved by saving the output as a FIG-file.
%
% To reopen this object, just type the name of the M-file at the MATLAB
% prompt. The M-file and its associated MAT-file must be on your path.
%
% NOTE: certain newer features in MATLAB may not have been saved in this
% M-file due to limitations of this format, which has been superseded by

```

```
% FIG-files. Figures which have been annotated using the plot editor
tools
% are incompatible with the M-file/MAT-file format, and should be saved
as
% FIG-files.
```

```
load ayudaindatos
```

```
h0 = figure('Color',[0.137254901960784 0.349019607843137
0.52156862745098], ...
'Colormap',mat0, ...
'FileName','D:\koki\tesis_pruebas\ayudaindatos.m', ...
'MenuBar','none', ...
'resize','off',...
'Name','AYUDA: Ingreso de Datos', ...
'NumberTitle','off', ...
'PaperPosition',[18 180 576 432], ...
'PaperUnits','points', ...
'Position',[255 94 354 438], ...
'RendererMode','manual', ...
'Resize','off', ...
'Tag','Fig1', ...
'ToolBar','none');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.768627450980392 0.768627450980392
0.768627450980392], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[21 293.25 223.5 27], ...
'Tag','Pushbutton2');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.768627450980392 0.768627450980392
0.768627450980392], ...
'FontAngle','italic', ...
'FontName','Vardana', ...
'FontSize',12, ...
'FontWeight','bold', ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[43.5 302.25 174 14], ...
'String','Pantalla para Ingreso de Datos', ...
'Style','text', ...
'Tag','StaticText1');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
'Callback','salir', ...
'FontName','Ms', ...
'FontSize',12, ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[152.25 5.25 77.25 16.5], ...
'String','Salir', ...
'Tag','Pushbutton1');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[1 1 1], ...
'FontSize',10, ...
'Position',[15 26.25 236.25 261], ...
'String',mat1, ...
```

```

        'Style','listbox', ...
        'Tag','T', ...
        'UserData','[ ]', ...
        'Value',1);
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'Callback','close', ...
    'FontName','MS', ...
    'FontSize',12, ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[43.5 5.25 79.5 17.5], ...
    'String','Regresar', ...
    'Tag','Pushbutton3');
if nargout > 0, fig = h0; end

```

```

function fig = ayudapres()

```

```

% This is the machine-generated representation of a Handle Graphics
object
% and its children. Note that handle values may change when these
objects
% are re-created. This may cause problems with any callbacks written to
% depend on the value of the handle at the time the object was saved.
% This problem is solved by saving the output as a FIG-file.
%
% To reopen this object, just type the name of the M-file at the MATLAB
% prompt. The M-file and its associated MAT-file must be on your path.
%
% NOTE: certain newer features in MATLAB may not have been saved in this
% M-file due to limitations of this format, which has been superseded by
% FIG-files. Figures which have been annotated using the plot editor
tools
% are incompatible with the M-file/MAT-file format, and should be saved
as
% FIG-files.

```

```

load ayudapres

```

```

h0 = figure('Color',[0.137254901960784 0.349019607843137
0.52156862745098], ...
    'Colormap',mat0, ...
    'FileName','C:\Mis documentos\Jorge\TESIS\PROGRAMA\ayudapres.m',
...
    'MenuBar','none', ...
    'Name','AYUDA: Presentación', ...
    'NumberTitle','off', ...
    'PaperPosition',[18 180 576 432], ...
    'PaperUnits','points', ...
    'Position',[255 94 354 438], ...
    'RendererMode','manual', ...
    'Resize','off', ...
    'Tag','Fig1', ...
    'ToolBar','none');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...

```

```
function fig = ayudasimu()
```

```
% This is the machine-generated representation of a Handle Graphics
object
% and its children. Note that handle values may change when these
objects
% are re-created. This may cause problems with any callbacks written to
% depend on the value of the handle at the time the object was saved.
% This problem is solved by saving the output as a FIG-file.
%
% To reopen this object, just type the name of the M-file at the MATLAB
% prompt. The M-file and its associated MAT-file must be on your path.
%
% NOTE: certain newer features in MATLAB may not have been saved in this
% M-file due to limitations of this format, which has been superseded by
% FIG-files. Figures which have been annotated using the plot editor
tools
% are incompatible with the M-file/MAT-file format, and should be saved
as
% FIG-files.
```

```
load ayudasimu
```

```
h0 = figure('Color',[0.137254901960784 0.349019607843137
0.52156862745098], ...
    'Colormap',mat0, ...
    'FileName','D:\koki\Programa\ayudasimu.m', ...
    'MenuBar','none', ...
    'Name','AYUDA: Simulación', ...
    'NumberTitle','off', ...
    'PaperPosition',[18 180 576 432], ...
    'PaperUnits','points', ...
    'Position',[255 94 354 438],...
    'RendererMode','manual', ...
    'Resize','off', ...
    'Tag','Fig1', ...
    'ToolBar','none');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.768627450980392 0.768627450980392
0.768627450980392], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[21 293.25 223.5 27], ...
    'Tag','Pushbutton2');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.768627450980392 0.768627450980392
0.768627450980392], ...
    'FontAngle','italic', ...
    'FontName','Vardana', ...
    'FontSize',12, ...
    'FontWeight','bold'; ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[43.5 302.25 174 12], ...
    'String','Pantalla de Simulación', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','StaticText1');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
```

```

        'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
        'Callback','salir', ...
        'FontName','Ms', ...
        'FontSize',12, ...
        'ListboxTop',0, ...
        'Position',[152.25 5.25 77.25 17.5], ...
        'String','Salir', ...
        'Tag','Pushbutton1');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
        'Units','points', ...
        'BackgroundColor',[1 1 1], ...
        'FontSize',10, ...
        'Position',[12.75 25.5 240.75 261], ...
        'String',mat1, ...
        'Style','listbox', ...
        'Tag','T', ...
        'UserData','[ ]', ...
        'Value',1);
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
        'Units','points', ...
        'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
        'Callback','close', ...
        'FontName','MS', ...
        'FontSize',12, ...
        'ListboxTop',0, ...
        'Position',[43.5 5.25 79.5 17.5], ...
        'String','Regresar', ...
        'Tag','Pushbutton3');
if nargout > 0, fig = h0; end

```

function cambio()

```

load arc hmrepet hmsim hprepet hpsim hpatras hmatras;

vlor=get(hprepet,'enable');
if vlor=='on'
    set(hprepet,'enable','off');
end
vlor=get(hpsim,'enable');
if vlor=='on'
    set(hpsim,'enable','off');
end
vlor=get(hpatras,'enable');
if vlor=='on'
    set(hpatras,'enable','off');
end

load datos2 m M L g lp Hd Xo eng regul hibri tsimu b;
b=1;
Xo =zeros(4,1);

ang=findobj('tag','textang1');
Xo(1)=eval(get(ang,'string'));

```

```

%conversión de ángulo de entrada
if (hibri==1 & Xo(1)< 0);
    Xo(1)=360+Xo(1);
end

angu=Xo(1);
angl=abs(angu);
while angl >= 360;
    angl=angl-360;
    Xo(1)=angl*sign(angu);
end
angulo = Xo(1);
Xo(1)= Xo(1)*pi/180;

wo=findobj('tag','textw1');
Xo(2)=eval(get(wo,'string'));

xc=findobj('tag','textpos1');
Xo(3)=eval(get(xc,'string'));

vc=findobj('tag','textVc1');
Xo(4)=eval(get(vc,'string'));
if (Xo(1)> 5.724679 & regul ==1)
    angl= angl-360;
    Xo(1)=Xo(1)-2*pi;
end
if (Xo(1)< -5.724679 & regul ==1)
    angl= -angl+360;
    Xo(1)=Xo(1)+2*pi;
end

if (abs(Xo(1))==pi & hibri==1) | (abs(Xo(1))==pi & eng ==1);
    Xo(1)=pi-0.01;
end

if ((Xo(3)>1 | Xo(3)< -1 | Xo(4) > 1.5 | Xo(4)<-1.5 | Xo(2) > 3 | Xo(2)< -
3));

    vlor=get(hprepet,'enable');
    if vlor=='off'
        set(hprepet,'enable','on');
    end
    vlor=get(hpsim,'enable');
    if vlor=='off'
        set(hpsim,'enable','on');
    end
    vlor=get(hpatras,'enable');
    if vlor=='off'
        set(hpatras,'enable','on');
    end

    h0 = figure('position',[285 251 303 97],'color',[0.6431372549019611
0.6431372549019611 0.6431372549019611],...
'name','ERROR DE DATOS','numbertitle','off',...
'resize','off','windowstyle','modal');
    h1 = uimenu('Parent',h0, ...
'Label','Help', ...
'Tag','uimenu1');
    h1 = uicontextmenu('Parent',h0, ...
'Tag','UIContextMenu1');

```

```

    h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'Callback','close', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[82.5 10.5 56.25 22.5], ...
    'String','Aceptar', ...
    'Tag','Pushbutton1');
    h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.6431372549019611 0.6431372549019611
0.6431372549019611], ...
    'FontSize',11, ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[23.25 42 175.5 12.75], ...
    'String','Condiciones iniciales erróneas', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','StaticText1');
elseif (regul == 1 & (abs(ang1) > 32));
    vlor=get(hprepet,'enable');
    if vlor=='off'
        set(hprepet,'enable','on');
    end
    vlor=get(hpsim,'enable');
    if vlor=='off'
        set(hpsim,'enable','on');
    end
    vlor=get(hpatras,'enable');
    if vlor=='off'
        set(hpatras,'enable','on');
    end
end

h0 = figure('position',[285 251 303 97],'color',[0.6431372549019611
0.6431372549019611 0.6431372549019611],...
'name','ERROR DE DATOS','numbertitle','off',...
'resize','off','windowstyle','modal');
    h1 = uimenu('Parent',h0, ...
    'Label','Help', ...
    'Tag','uimenu1');
    h1 = uicontextmenu('Parent',h0, ...
    'Tag','UIContextMenu1');
    h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'Callback','close', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[82.5 10.5 56.25 22.5], ...
    'String','Aceptar', ...
    'Tag','Pushbutton1');
    h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.6431372549019611 0.6431372549019611
0.6431372549019611], ...
    'FontSize',11, ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[12 42 200 12.75], ...
    'String','Angulo inicial menor a 32° regulador lineal', ...
    'Style','text', ...

```

```

    'Tag', 'StaticText1');
elseif ((regul == 1 & (abs(Xo(1))== 0 | abs(Xo(1))== 2*pi)) | (hibri == 1
& (abs(Xo(1))== 0 | abs(Xo(1))== 2*pi)));
    vlor=get(hprepet,'enable');
    if vlor=='off'
        set(hprepet,'enable','on');
    end
    vlor=get(hpsim,'enable');
    if vlor=='off'
        set(hpsim,'enable','on');
    end
    vlor=get(hpatras,'enable');
    if vlor=='off'
        set(hpatras,'enable','on');
    end
end

h0 = figure('position',[285 251 303 97],'color',[0.6431372549019611
0.6431372549019611 0.6431372549019611],...
'name','ERROR DE DATOS','numbertitle','off',...
'resize','off','windowstyle','modal');
h1 = uimenu('Parent',h0, ...
'Label','Help', ...
'Tag','uimenu1');
h1 = uicontextmenu('Parent',h0, ...
'Tag','UIContextMenu1');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
'Callback','close', ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[82.5 10.5 56.25 22.5], ...
'String','Aceptar', ...
'Tag','Pushbutton1');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.6431372549019611 0.6431372549019611
0.6431372549019611], ...
'FontSize',11, ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[12 42 200 12.75], ...
'String','Ingrese un ángulo distinto de 0°', ...
'Style','text', ...
'Tag','StaticText1');
else
    save datos2
    save datos1 m M L lp g Hd Xo eng regul hibri tsimu b;
    algoritmo
end

```

function cancelar()

```

load canc
a=1;
i=500*tsimu;
save canc
close(h)
if b==0
load arch hmena hmens hmenc hmenr hpusha hpushs hpushc hpushr;

```

```

set(hmena, 'enable', 'on');
set(hmens, 'enable', 'on');
set(hmenc, 'enable', 'on');
set(hmenr, 'enable', 'on');
set(hpusha, 'enable', 'on');
set(hpushs, 'enable', 'on');
set(hpushc, 'enable', 'on');
set(hpushr, 'enable', 'on');
else
load arc hmrepet hmsim hprepet hpsim hpatras hmatras;

vlor=get(hprepet, 'enable');
if vlor=='off'
    set(hprepet, 'enable', 'on');
end
vlor=get(hpsim, 'enable');
if vlor=='off'
    set(hpsim, 'enable', 'on');
end
vlor=get(hpatras, 'enable');
if vlor=='off'
    set(hpatras, 'enable', 'on');
end
end

```

function chequeo()

```

load chequeos
vst1= findobj('tag', 'energia');
e = get(vst1, 'value');
if e == 1
set(hr2, 'value', 0);
set(hr3, 'value', 0);
end

```

function chequeo1()

```

load chequeos
vst2= findobj('tag', 'regulacion');
r = get(vst2, 'value');
if r == 1
set(hr3, 'value', 0);
set(hr1, 'value', 0);
end

```

function chequeo2()

```

load chequeos
vst3= findobj('tag', 'hibrido');
h = get(vst3, 'value');
if h == 1
set(hr1, 'value', 0);
set(hr2, 'value', 0);
end

```

```

function corresim();

load resultados

carpos = X(:,3);
pendang = X(:,1);

% dimensiones del pendulo y del carro
carlong= 0.3;
car2 = carlong/2;
ltime = length(carpos);

carizq=carpos-car2;
carder=carpos+car2;

lpend =2*L;

px=lpend*sin(pendang) + carpos;
py=lpend*cos(pendang) + 0.03;

save tiempo;

%graficación del estado inicial del pendulo
xlim=max(abs(carpos)); %setea los limites del eje x
xlim= xlim + carlong;
if xlim < 1;
    xlim = 1;
end
riell = plot([-xlim+0.07 xlim-0.07],[0 0], 'k',
'erasemode',...
'xor','linewidth',[20]);
riell = plot([-xlim+0.07 xlim-0.07],[0 0], 'k', 'erasemode',...
'xor','linewidth',[23]);

hold on
pend= plot([carpos(1) px(1) ],[0.03 py(1)], 'k', 'erasemode',...
'xor','linewidth',[7]);
car = plot([carizq(1) carder(1) ],[0 0], 'k', 'erasemode',...
'xor','linewidth',[20]);
axis ([-xlim xlim -1 1]);
title('ANIMACION DEL PENDULO INVERTIDO');
%simulación
load velocidad velo
for i=2:ltime-1
    set(car,'XData',[carizq(i) carder(i)]);
    set(pend,'XData',[carpos(i) px(i)]);
    set(pend,'YData',[0.03 py(i)]);
    for z=1:floor(7188*exp(-3.098*velo));
        z=z+1;
    end
    drawnow;
end
save velocidad velo

```

function datos()

```
load datos
load arch hmena hmens hmenc hmenr hpusha hpushs hpushc hpushr;
set(hmena,'enable','off');
set(hmens,'enable','off');
set(hmenc,'enable','off');
set(hmenr,'enable','off');
set(hpusha,'enable','off');
set(hpushs,'enable','off');
set(hpushc,'enable','off');
set(hpushr,'enable','off');

% obtencion de los datos de entrada
mp=findobj('tag','textmp');
m=eval(get(mp,'string'));

mc=findobj('tag','textmc');
M=eval(get(mc,'string'));

longp=findobj('tag','textlp');
lp=eval(get(longp,'string'));

L=lp/2; %longitud al centro de masa

g=findobj('tag','textgrav');
g=eval(get(g,'string'));

energia=findobj('tag','texth');
Hd=eval(get(energia,'string'));

Xo =zeros(4,1);

ang=findobj('tag','textang');
Xo(1)=eval(get(ang,'string'));

wo=findobj('tag','textw');
Xo(2)=eval(get(wo,'string'));

xc=findobj('tag','textpos');
Xo(3)=eval(get(xc,'string'));

vc=findobj('tag','textVc');
Xo(4)=eval(get(vc,'string'));

%chequeo que control se eligio

vistol= findobj('tag','energia');
eng = get(vistol,'value');

visto2= findobj('tag','regulacion');
regul = get(visto2,'value');

visto3= findobj('tag','hibrido');
hibri = get(visto3,'value');

%conversión de ángulo de entrada
if (hibri==1 & Xo(1)< 0)
    Xo(1)=360+Xo(1);
end
```

```

angu=Xo(1);
angl=abs(angu);
while angl >= 360
    angl=angl-360;
    Xo(1)=angl*sign(angu);
end
Xo(1)= Xo(1)*pi/180;

if (Xo(1)> 5.724679 & regul ==1);
    angl= angl-360;
    Xo(1)=Xo(1)-2*pi;
end
if (Xo(1)< -5.724679 & regul ==1)
    angl= -angl+360;
    Xo(1)=Xo(1)+2*pi;
end
if (abs(Xo(1))==pi & hibri==1) | (abs(Xo(1))==pi & eng ==1);
    Xo(1)=pi-0.01;
end
if (Xo(1)==0 & eng==1);
    Xo(1)=0.01;
end
%tiempo se dimulación
tsimula = findobj('tag','tiempo');
tsimu = eval(get(tsimula,'string'));
b=0;
save datos1 m M lp L g Hd Xo eng regul hibri tsimu b;
load datos1 m M lp L g Hd Xo eng regul hibri tsimu b;
save datos2 m M lp L g Hd Xo eng regul hibri tsimu b;

if (Hd > 1.2*m*g*lp | Hd == 0);
    if g<0
        set(hmena,'enable','on');
        set(hmens,'enable','on');
        set(hmenc,'enable','on');
        set(hmenr,'enable','on');
        set(hpusha,'enable','on');
        set(hpushs,'enable','on');
        set(hpushc,'enable','on');
        set(hpushr,'enable','on');

        h0 = figure('position',[285 251 303 97],'color',[0.6431372549019611
0.6431372549019611 0.6431372549019611],...
        'name','ERROR DE DATOS','numbertitle','off',...
        'resize','off','windowstyle','modal');
        h1 = uimenu('Parent',h0, ...
        'Label','Help', ...
        'Tag','uimenu1');
        h1 = uicontextmenu('Parent',h0, ...
        'Tag','UIContextMenu1');
        h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
        'Units','points', ...
        'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
        'Callback','close', ...
        'ListboxTop',0, ...
        'Position',[82.5 10.5 56.25 22.5], ...
        'String','Aceptar', ...
        'Tag','Pushbutton1');
        h1 = uicontrol('Parent',h0, ...

```

```

        'Units','points', ...
        'BackgroundColor',[0.6431372549019611 0.6431372549019611
0.6431372549019611], ...
        'FontSize',11, ...
        'ListboxTop',0, ...
        'Position',[23.25 42 175.5 12.75], ...
        'String','No existe gravedad negativa', ...
        'Style','text', ...
        'Tag','StaticText1');
else
    set(hmena,'enable','on');
    set(hmens,'enable','on');
    set(hmenc,'enable','on');
    set(hmenr,'enable','on');
    set(hpusha,'enable','on');
    set(hpushs,'enable','on');
    set(hpushc,'enable','on');
    set(hpushr,'enable','on');

h0 = figure('position',[285 251 303 97],'color',[0.6431372549019611
0.6431372549019611 0.6431372549019611],...
    'name','ERROR DE DATOS','numbertitle','off',...
    'resize','off','windowstyle','modal');
h1 = uimenu('Parent',h0, ...
    'Label','Help', ...
    'Tag','uimenu1');
h1 = uicontextmenu('Parent',h0, ...
    'Tag','UIContextMenu1');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'Callback','close', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[82.5 10.5 56.25 22.5], ...
    'String','Aceptar', ...
    'Tag','Pushbutton1');
if Hd == 0
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.6431372549019611 0.6431372549019611
0.6431372549019611], ...
    'FontSize',11, ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[23.25 42 175.5 12.75], ...
    'String','Energía Máxima distinta de 0', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','StaticText1');
else
    h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
        'Units','points', ...
        'BackgroundColor',[0.6431372549019611 0.6431372549019611
0.6431372549019611], ...
        'FontSize',11, ...
        'ListboxTop',0, ...
        'Position',[23.25 42 175.5 12.75], ...
        'String','Energía muy alta Máxima = mp*g*lp', ...
        'Style','text', ...
        'Tag','StaticText1');
end

```

```

end
elseif tsimu == 0
    set(hmena,'enable','on');
    set(hmens,'enable','on');
    set(hmenc,'enable','on');
    set(hmenr,'enable','on');
    set(hpusha,'enable','on');
    set(hpushs,'enable','on');
    set(hpushc,'enable','on');
    set(hpushr,'enable','on');

    h0 = figure('position',[285 251 303 97],'color',[0.6431372549019611
0.6431372549019611 0.6431372549019611],...
    'name','ERROR DE DATOS','numbertitle','off',...
    'resize','off','windowstyle','modal');
    h1 = uimenu('Parent',h0, ...
    'Label','Help', ...
    'Tag','uimenu1');
    h1 = uicontextmenu('Parent',h0, ...
    'Tag','UIContextMenu1');
    h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'Callback','close', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[82.5 10.5 56.25 22.5], ...
    'String','Aceptar', ...
    'Tag','Pushbutton1');
    h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.6431372549019611 0.6431372549019611
0.6431372549019611], ...
    'FontSize',11, ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[23.25 42 175.5 12.75], ...
    'String','Ingrese un tiempo mayor que 0 s', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','StaticText1');
elseif (m > 2 | m <= 0 | M > 4 | M <=0 | ( M < 2*m) );
set(hmena,'enable','on');
    set(hmens,'enable','on');
    set(hmenc,'enable','on');
    set(hmenr,'enable','on');
    set(hpusha,'enable','on');
    set(hpushs,'enable','on');
    set(hpushc,'enable','on');
    set(hpushr,'enable','on');

    h0 = figure('position',[285 251 303 97],'color',[0.6431372549019611
0.6431372549019611 0.6431372549019611],...
    'name','ERROR DE DATOS','numbertitle','off',...
    'resize','off','windowstyle','modal');
    h1 = uimenu('Parent',h0, ...
    'Label','Help', ...
    'Tag','uimenu1');
    h1 = uicontextmenu('Parent',h0, ...
    'Tag','UIContextMenu1');
    h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...

```

```

        'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
        'Callback','close', ...
        'ListboxTop',0, ...
        'Position',[82.5 10.5 56.25 22.5], ...
        'String','Aceptar', ...
        'Tag','Pushbutton1');
    h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
        'Units','points', ...
        'BackgroundColor',[0.6431372549019611 0.6431372549019611
0.6431372549019611], ...
        'FontSize',11, ...
        'ListboxTop',0, ...
        'Position',[23.25 42 175.5 12.75], ...
        'String','Masa del carro o péndulo incorrectas', ...
        'Style','text', ...
        'Tag','StaticText1');

elseif (lp > 1 | lp == 0 | lp < 0);
    set(hmena,'enable','on');
    set(hmens,'enable','on');
    set(hmenc,'enable','on');
    set(hmenr,'enable','on');
    set(hpusha,'enable','on');
    set(hpushs,'enable','on');
    set(hpushc,'enable','on');
    set(hpushr,'enable','on');

    h0 = figure('position',[285 251 303 97],'color',[0.6431372549019611
0.6431372549019611 0.6431372549019611],...
        'name','ERROR DE DATOS','numbertitle','off',...
        'resize','off','windowstyle','modal');
    h1 = uimenu('Parent',h0, ...
        'Label','Help', ...
        'Tag','uimenu1');
    h1 = uicontextmenu('Parent',h0, ...
        'Tag','UIContextMenu1');
    h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
        'Units','points', ...
        'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
        'Callback','close', ...
        'ListboxTop',0, ...
        'Position',[82.5 10.5 56.25 22.5], ...
        'String','Aceptar', ...
        'Tag','Pushbutton1');

if (lp == 0 | lp < 0);

    h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
        'Units','points', ...
        'BackgroundColor',[0.6431372549019611 0.6431372549019611
0.6431372549019611], ...
        'FontSize',11, ...
        'ListboxTop',0, ...
        'Position',[23.25 42 175.5 12.75], ...
        'String','Error en la Longitud del péndulo', ...
        'Style','text', ...
        'Tag','StaticText1');

```

```

elseif lp > 1
    h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
        'Units','points', ...
        'BackgroundColor',[0.6431372549019611 0.6431372549019611
0.6431372549019611], ...
        'FontSize',11, ...
        'ListboxTop',0, ...
        'Position',[23.25 42 175.5 12.75], ...
        'String','Longitud del péndulo muy grande', ...
        'Style','text', ...
        'Tag','StaticText1');
end
elseif (Xo(3)>1 | Xo(3)< -1 | Xo(4) > 1.5 | Xo(4)<-1.5 | Xo(2) > 3 |
Xo(2)< -3);
    set(hmena,'enable','on');
    set(hmens,'enable','on');
    set(hmenc,'enable','on');
    set(hmenr,'enable','on');
    set(hpusha,'enable','on');
    set(hpushs,'enable','on');
    set(hpushc,'enable','on');
    set(hpushr,'enable','on');

    h0 = figure('position',[285 251 303 97],'color',[0.6431372549019611
0.6431372549019611 0.6431372549019611],...
        'name','ERROR DE DATOS','numbertitle','off',...
        'resize','off','windowstyle','modal');
    h1 = uimenu('Parent',h0, ...
        'Label','Help', ...
        'Tag','uimenu1');
    h1 = uicontextmenu('Parent',h0, ...
        'Tag','UIContextMenu1');
    h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
        'Units','points', ...
        'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
        'Callback','close', ...
        'ListboxTop',0, ...
        'Position',[82.5 10.5 56.25 22.5], ...
        'String','Aceptar', ...
        'Tag','Pushbutton1');

    h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
        'Units','points', ...
        'BackgroundColor',[0.6431372549019611 0.6431372549019611
0.6431372549019611], ...
        'FontSize',11, ...
        'ListboxTop',0, ...
        'Position',[23.25 42 175.5 12.75], ...
        'String','Condiciones iniciales erróneas', ...
        'Style','text', ...
        'Tag','StaticText1');
elseif g<0
    set(hmena,'enable','on');
    set(hmens,'enable','on');
    set(hmenc,'enable','on');
    set(hmenr,'enable','on');
    set(hpusha,'enable','on');
    set(hpushs,'enable','on');
    set(hpushc,'enable','on');

```

```

set(hpushr,'enable','on');

h0 = figure('position',[285 251 303 97],'color',[0.6431372549019611
0.6431372549019611 0.6431372549019611],...
'name','ERROR DE DATOS','numbertitle','off',...
'resize','off','windowstyle','modal');
h1 = uimenu('Parent',h0, ...
'Label','Help', ...
'Tag','uimenu1');
h1 = uicontextmenu('Parent',h0, ...
'Tag','UIContextMenu1');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
'Callback','close', ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[82.5 10.5 56.25 22.5], ...
'String','Aceptar', ...
'Tag','Pushbutton1');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.6431372549019611 0.6431372549019611
0.6431372549019611], ...
'FontSize',11, ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[23.25 42 175.5 12.75], ...
'String','No existe gravedad negativa', ...
'Style','text', ...
'Tag','StaticText1');
elseif (regul == 1 & (abs(angl) >= 32));
set(hmena,'enable','on');
set(hmens,'enable','on');
set(hmenc,'enable','on');
set(hmenr,'enable','on');
set(hpusha,'enable','on');
set(hpushs,'enable','on');
set(hpushc,'enable','on');
set(hpushr,'enable','on');

h0 = figure('position',[285 251 303 97],'color',[0.6431372549019611
0.6431372549019611 0.6431372549019611],...
'name','ERROR DE DATOS','numbertitle','off',...
'resize','off','windowstyle','modal');
h1 = uimenu('Parent',h0, ...
'Label','Help', ...
'Tag','uimenu1');
h1 = uicontextmenu('Parent',h0, ...
'Tag','UIContextMenu1');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
'Callback','close', ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[82.5 10.5 56.25 22.5], ...
'String','Aceptar', ...
'Tag','Pushbutton1');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...

```

```

        'BackgroundColor', [0.6431372549019611 0.6431372549019611
0.6431372549019611], ...
        'FontSize', 11, ...
        'ListboxTop', 0, ...
        'Position', [12 42 200 12.75], ...
        'String', 'Angulo inicial menor a 32° regulador lineal', ...
        'Style', 'text', ...
    'Tag', 'StaticText1');
elseif (hibri==1 & tsimu < 3);
    set(hmena, 'enable', 'on');
    set(hmens, 'enable', 'on');
    set(hmenc, 'enable', 'on');
    set(hmenr, 'enable', 'on');
    set(hpusha, 'enable', 'on');
    set(hpushs, 'enable', 'on');
    set(hpushc, 'enable', 'on');
    set(hpushr, 'enable', 'on');
    h0 = figure('position', [285 251 303 97], 'color', [0.6431372549019611
0.6431372549019611 0.6431372549019611], ...
    'name', 'ADVERTENCIA', 'numbertitle', 'off', ...
    'resize', 'off', 'windowstyle', 'modal');
    h1 = uimenu('Parent', h0, ...
    'Label', 'Help', ...
    'Tag', 'uimenu1');
    h1 = uicontextmenu('Parent', h0, ...
    'Tag', 'UIContextMenu1');
    h1 = uicontrol('Parent', h0, ...
    'Units', 'points', ...
    'BackgroundColor', [0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'Callback', 'close', ...
    'ListboxTop', 0, ...
    'Position', [125 10.5 56.25 20], ...
    'String', 'Cancelar', ...
    'Tag', 'Pushbutton1');
    h1 = uicontrol('Parent', h0, ...
    'Units', 'points', ...
    'BackgroundColor', [0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'Callback', 'algoritmo', ...
    'ListboxTop', 0, ...
    'Position', [45 10.5 56.25 20], ...
    'String', 'Aceptar', ...
    'Tag', 'Pushbutton1');
    h1 = uicontrol('Parent', h0, ...
    'Units', 'points', ...
    'BackgroundColor', [0.6431372549019611 0.6431372549019611
0.6431372549019611], ...
    'FontSize', 11, ...
    'ListboxTop', 0, ...
    'Position', [7.25 42 220.5 13.75], ...
    'String', 'Muy poco tiempo no levantará el péndulo', ...
    'Style', 'text', ...
    'Tag', 'StaticText1');

elseif ((regul == 1 & (abs(Xo(1))== 0 | abs(Xo(1))== 2*pi)) | (hibri == 1
& (abs(Xo(1))== 0 | abs(Xo(1))== 2*pi)));
    set(hmena, 'enable', 'on');
    set(hmens, 'enable', 'on');
    set(hmenc, 'enable', 'on');

dx(2) = ((m*g*L)*sin(x(1))/(Jp))-
(m*L*(cos(x(1)))/(Jp))* (K*x(2)*cos(x(1))*(0.5*Jp*x(2)^2 + m*g*L +
m*g*L*cos(x(1))-Hd) - (2*wc*x(4) + wc^2*x(3)));

dx(3) = x(4);

dx(4) = K*x(2)*cos(x(1))*(0.5*Jp*x(2)^2 + m*g*L + m*g*L*cos(x(1))-Hd) -
(2*wc*x(4) + wc^2*x(3));

```

```

elseif regul==1

    load REGUL;

    f=-K*[x(1) x(2) x(3) x(4)]';

    dx=zeros(4,1);

    dx(1) = x(2);

    dx(2) = ((M+m)*g)/(M*L)*x(1) - (1/(M*L))*f;

    dx(3) = x(4);

    dx(4) = -(m*g)/M*x(1) + (1/M)*f;

end

```

```

function ejemplo1()

```

```

load guarda;
v1= findobj('tag','ejmp1');
ex1 = get(v1,'value');
if ex1 == 1
set(hej2,'value',0);
set(hej3,'value',0);
set(hej4,'value',0);
set(hej5,'value',0);
end

```

```

function ejemplo2()

```

```

load guarda;
v2= findobj('tag','ejmp2');
ex2 = get(v2,'value');
if ex2 == 1
set(hej1,'value',0);
set(hej3,'value',0);
set(hej4,'value',0);
set(hej5,'value',0);
end

```

```

function ejemplo3()

```

```

load guarda;
v3= findobj('tag','ejmp3');
ex3 = get(v3,'value');
if ex3 == 1
set(hej1,'value',0);
set(hej2,'value',0);
set(hej4,'value',0);

```

```
set(hej5, 'value', 0);
end
```

```
function ejemplo4()
```

```
load guarda;
v4= findobj('tag', 'ejmp4');
ex4 = get(v4, 'value');
if ex4 == 1
set(hej1, 'value', 0);
set(hej2, 'value', 0);
set(hej3, 'value', 0);
set(hej5, 'value', 0);
end
```

```
function ejemplo5()
```

```
load guarda;
v5= findobj('tag', 'ejmp5');
ex5 = get(v5, 'value');
if ex5 == 1
set(hej1, 'value', 0);
set(hej2, 'value', 0);
set(hej3, 'value', 0);
set(hej4, 'value', 0);
end
```

```
function fig = escojer1()
```

```
% This is the machine-generated representation of a Handle Graphics
object
% and its children. Note that handle values may change when these
objects
% are re-created. This may cause problems with any callbacks written to
% depend on the value of the handle at the time the object was saved.
% This problem is solved by saving the output as a FIG-file.
%
% To reopen this object, just type the name of the M-file at the MATLAB
% prompt. The M-file and its associated MAT-file must be on your path.
%
% NOTE: certain newer features in MATLAB may not have been saved in this
% M-file due to limitations of this format, which has been superseded by
% FIG-files. Figures which have been annotated using the plot editor
tools
% are incompatible with the M-file/MAT-file format, and should be saved
as
% FIG-files.
```

```
load escojer1
```

```
h0 = figure('Color',[0.286274509803922 0.349019607843137
0.462745098039216], ...
'Colormap',mat0, ...
```

```

    'FileName', 'C:\MATLABR11\work\tesis_pruebas\escojer1.m', ...
'MenuBar', 'none', ...
'Resize', 'off', ...
    'Name', 'Opciones de Graficación', ...
    'NumberTitle', 'off', ...
    'PaperPosition', [18 280 200 200], ...
    'PaperUnits', 'points', ...
    'Position', [105 307 334 178], ...
    'Tag', 'Fig5', ...
    'ToolBar', 'none', ...
    'DefaulttextColor', [1 1 1], ...
    'DefaultaxesXColor', [1 1 1], ...
    'DefaultaxesYColor', [1 1 1], ...
    'DefaultaxesZColor', [1 1 1], ...
    'DefaultpatchFaceColor', [1 1 1], ...
    'DefaultpatchEdgeColor', [0 0 0], ...
    'DefaultsurfaceEdgeColor', [0 0 0], ...
    'DefaultlineColor', [1 1 1], ...
    'DefaultaxesColor', [0 0.2 0.2]);
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'Callback','close', ...
    'FontSize',10, ...
    'FontWeight','bold', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[141.75 6 58.5 18.75], ...
    'String','Salir', ...
    'Tag','Pushbutton1');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0 0 0.627450980392157], ...
    'Enable','off', ...
    'ForegroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[41.25 30 171 91.5], ...
    'Style','frame', ...
    'Tag','Frame1');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'Callback','varios1', ...
    'FontSize',10, ...
    'FontWeight','bold', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[58.5 6 63 18.75], ...
    'String','Graficar', ...
    'Tag','Pushbutton1');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[51.75 98.25 73.5 16.5], ...
    'String','Ang vs t', ...
    'Style','radiobutton', ...
    'value',1, ...

```

```

        'Tag', 'avt');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[133.5 98.25 71.25 16.5], ...
    'String','Xc vs t', ...
    'Style','radiobutton', ...
    'Tag','xvt');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[132.75 78 71.25 16.5], ...
    'String','W vs t', ...
    'Style','radiobutton', ...
    'Tag','wvt');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[51 78 73.5 16.5], ...
    'String','Vc vs t', ...
    'Style','radiobutton', ...
    'Tag','vvt');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[132 57.75 71.25 16.5], ...
    'String','Eng vs t', ...
    'Style','radiobutton', ...
    'Tag','evt');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[50.25 57.75 73.5 16.5], ...
    'String','Ang vs Xc', ...
    'Style','radiobutton', ...
    'Tag','avx');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[131.25 36 71.25 16.5], ...
    'String','Ang vs W', ...
    'Style','radiobutton', ...
    'Tag','avw');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'ListboxTop',0, ...

```

```

    'Position',[49.5 36 73.5 16.5], ...
    'String','W vs Vc', ...
    'Style','radiobutton', ...
    'Tag','wvv');
if nargout > 0, fig = h0; end

```

function garchivo()

```

load guarda;
load arch;
mp=findobj('tag','textmp');
m=eval(get(mp,'string'));

mc=findobj('tag','textmc');
M=eval(get(mc,'string'));

longp=findobj('tag','textlp');
l=eval(get(longp,'string'));

L=l/2; %longitud al centro de masa

g=findobj('tag','textgrav');
g=eval(get(g,'string'));

energia=findobj('tag','texth');
Hd=eval(get(energia,'string'));

Xo =zeros(4,1);

ang=findobj('tag','textang');
Xo(1)=eval(get(ang,'string'));

%conversión de ángulo de entrada
angu=Xo(1);
ang1=abs(angu);
while ang1 >= 360
    ang1=ang1-360;
    Xo(1)=ang1*sign(angu);
end
Xo(1)= Xo(1)*pi/180;

wo=findobj('tag','textw');
Xo(2)=eval(get(wo,'string'));

xc=findobj('tag','textpos');
Xo(3)=eval(get(xc,'string'));

vc=findobj('tag','textVc');
Xo(4)=eval(get(vc,'string'));

%chequeo que control se eligio

vistol= findobj('tag','energia');
eng = get(vistol,'value');

visto2= findobj('tag','regulacion');
regul = get(visto2,'value');

```

```

visto3= findobj('tag','hibrido');
hibri = get(visto3,'value');

%tiempo se dimulación
tsimula = findobj('tag','tiempo');
tsimu = eval(get(tsimula,'string'));

v1= findobj('tag','ejmp1');
ex1 = get(v1,'value');
v2= findobj('tag','ejmp2');
ex2 = get(v2,'value');
v3= findobj('tag','ejmp3');
ex3 = get(v3,'value');
v4= findobj('tag','ejmp4');
ex4 = get(v4,'value');
v5= findobj('tag','ejmp5');
ex5 = get(v5,'value');
if ex1==1
save ejemplo1 m M l L g Hd Xo eng regul hibri tsimu;
elseif ex2==1
save ejemplo2 m M l L g Hd Xo eng regul hibri tsimu;
elseif ex3==1
save ejemplo3 m M l L g Hd Xo eng regul hibri tsimu;
elseif ex4==1
save ejemplo4 m M l L g Hd Xo eng regul hibri tsimu;
elseif ex5==1
save ejemplo5 m M l L g Hd Xo eng regul hibri tsimu;
end
close;

```

```

function fig = graficacion(accion)

```

```

% This is the machine-generated representation of a Handle Graphics
object
% and its children. Note that handle values may change when these
objects
% are re-created. This may cause problems with any callbacks written to
% depend on the value of the handle at the time the object was saved.
% This problem is solved by saving the output as a FIG-file.
%
% To reopen this object, just type the name of the M-file at the MATLAB
% prompt. The M-file and its associated MAT-file must be on your path.
%
% NOTE: certain newer features in MATLAB may not have been saved in this
% M-file due to limitations of this format, which has been superseded by
% FIG-files. Figures which have been annotated using the plot editor
tools
% are incompatible with the M-file/MAT-file format, and should be saved
as
% FIG-files.

```

```

load graficacion

```

```

h0 = figure('Color',[0.0117647058823529 0.411764705882353
0.470588235294118], ...
'FileName','C:\Jorge_Tesis\tesisprog\graficacion.m', ...
'MenuBar','none', ...
'Name','GRAFICACION DE RESULTADOS', ...

```

```

'resize','off',...
'NumberTitle','off', ...
'PaperPosition',[18 180 579 435], ...
'PaperUnits','points', ...
'Position',[54 44 700 500], ...
'Resize','off', ...
'Tag','Fig2', ...
'ToolBar','none', ...
'DefaulttextColor',[1 1 1], ...
'DefaultaxesXColor',[0 0 0], ...
'DefaultaxesYColor',[0 0 0], ...
'DefaultaxesZColor',[1 1 0.5], ...
'DefaultaxesXGrid','on', ...
'DefaultaxesYGrid','on', ...
'DefaultpatchFaceColor',[1 1 1], ...
'DefaultpatchEdgeColor',[0 0 0], ...
'DefaultsurfaceEdgeColor',[0 0 0], ...
'DefaultlineColor',[1 1 1], ...
'DefaultaxesColor',[0.6666666666666667 0.6666666666666667
0.6666666666666667]);
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','normalized', ...
'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
'Callback','close', ...
'FontName','arial', ...
'FontSize',12, ...
'FontWeight','bold', ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[0.8928571428571429 0.02 0.08 0.06], ...
'String','<<', ...
'Tag','Pushbutton6');
hline = axes('Parent',h0, ...
'Box','on', ...
'CameraUpVector',[0 1 0], ...
'Color',[0.6666666666666667 0.6666666666666667 0.6666666666666667],
...
'ColorOrder',mat1, ...
'FontSize',8, ...
'Position',[0.1271428571428571 0.112 0.6757142857142857
0.8140000000000001], ...
'Tag','Axes1', ...
'XColor',[0 0 0], ...
'XGrid','on', ...
'YColor',[0 0 0], ...
'YGrid','on', ...
'ZColor',[1 1 0.5]);
hs1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','normalized', ...
'BackgroundColor',[0.0117647058823529 0.411764705882353
0.470588235294118], ...
'FontSize',9, ...
'FontWeight','bold', ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[0.85 0.86 0.108 0.026], ...
'String','Valor Máximo', ...
'Style','text', ...
'Tag','stextlp');
hs2 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','normalized', ...

```

```

        'Style','text', ...
        'Tag','stextlp');
hs8 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','normalized', ...
    'BackgroundColor',[0.0117647058823529 0.411764705882353
0.470588235294118], ...
    'FontSize',9, ...
    'FontWeight','bold', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[0.83 0.54 0.05 0.026], ...
    'String','Eje Y:', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','stextlp');
hs9 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','normalized', ...
    'BackgroundColor',[0 0.1 0.5], ...
    'FontWeight','bold', ...
    'ForegroundColor',[1 1 0], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[0.89 0.6 0.08 0.045], ...
    'Style','edit', ...
    'Tag','textlp', ...
    'Value',1);
hs10 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','normalized', ...
    'BackgroundColor',[0 0.1 0.5], ...
    'FontWeight','bold', ...
    'ForegroundColor',[1 1 0], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[0.89 0.53 0.08 0.045], ...
    'Style','edit', ...
    'Tag','textlp', ...
    'Value',1);
hs11 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','normalized', ...
    'BackgroundColor',[0.0117647058823529 0.411764705882353
0.470588235294118], ...
    'FontSize',9, ...
    'FontWeight','bold', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[0.88 0.456 0.047 0.026], ...
    'String','Punto', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','stextlp');
hs12 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','normalized', ...
    'BackgroundColor',[0.0117647058823529 0.411764705882353
0.470588235294118], ...
    'FontSize',9, ...
    'FontWeight','bold', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[0.83 0.408 0.05 0.026], ...
    'String','Eje X:', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','stextlp');
hs13 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','normalized', ...
    'BackgroundColor',[0.0117647058823529 0.411764705882353
0.470588235294118], ...
    'FontSize',9, ...

```

```

        'FontWeight','bold', ...
        'ListboxTop',0, ...
        'Position',[0.83 0.34 0.05 0.026], ...
        'String','Eje Y:', ...
        'Style','text', ...
        'Tag','stextlp');
hs14 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','normalized', ...
    'BackgroundColor',[0 0.1 0.5], ...
    'FontWeight','bold', ...
    'ForegroundColor',[1 1 0], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[0.89 0.4 0.08 0.045], ...
    'Style','edit', ...
    'Tag','textlp', ...
    'Value',1);
hs15 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','normalized', ...
    'BackgroundColor',[0 0.1 0.5], ...
    'FontWeight','bold', ...
    'ForegroundColor',[1 1 0], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[0.89 0.33 0.08 0.045], ...
    'Style','edit', ...
    'Tag','textlp', ...
    'Value',1);
h1 = uimenu('Parent',h0, ...
    'Label','&Archivo', ...
    'Tag','archivo');
h2 = uimenu('Parent',h1, ...
    'Accelerator','G', ...
    'Callback','filemenufcn(gcbf,''FileSave'')', ...
    'Label','&Guardar', ...
    'Tag','guardar');
h2 = uimenu('Parent',h1, ...
    'Accelerator','o', ...
    'Callback','pagesetupdlg(gcbf)', ...
    'Label','&Configuración de Página..', ...
    'Tag','confP');
h2 = uimenu('Parent',h1, ...
    'Accelerator','n', ...
    'Callback','filemenufcn(gcbf,''FilePrintSetup'')', ...
    'Label','C&onfiguración de Impresión', ...
    'Tag','confI');
h2 = uimenu('Parent',h1, ...
    'Accelerator','v', ...
    'Callback','printpreview(gcbf)', ...
    'Label','&Vista Previa', ...
    'Tag','vista');
h2 = uimenu('Parent',h1, ...
    'Accelerator','I', ...
    'Callback','printdlg', ...
    'Label','&Imprimir', ...
    'Tag','imprimir');
h2 = uimenu('Parent',h1, ...
    'Accelerator','s', ...
    'Callback','close', ...
    'Label','&Salir', ...
    'Tag','imprimir');
h1 = uimenu('Parent',h0, ...

```

```

        'Label', '&Puntos de la Gráfica', ...
        'Tag', 'puntos');
h2 = uimenu('Parent',h1, ...
        'Accelerator','M', ...
        'Callback','maximo', ...
        'Label','&Máximo', ...
        'Tag','maximo');
h2 = uimenu('Parent',h1, ...
        'Accelerator','n', ...
        'Callback','minimo', ...
        'Label','Mí&nimo', ...
        'Tag','print4');
h2 = uimenu('Parent',h1, ...
        'Accelerator','u', ...
        'Callback','ubicar', ...
        'Label','&Ubicar Punto', ...
        'Tag','ubicar');
h1 = uimenu('Parent',h0, ...
        'Label','&Opciones', ...
        'Tag','opciones');
h2 = uimenu('Parent',h1, ...
        'Accelerator','g', ...
        'Callback','grid on', ...
        'Label','Activar Divi&siónes ', ...
        'Tag','gridon');
h2 = uimenu('Parent',h1, ...
        'Accelerator','f', ...
        'Callback','grid off', ...
        'Label','&Desactivar Divisiones ', ...
        'Tag','gridoff');
h2 = uimenu('Parent',h1, ...
        'Accelerator','z', ...
        'Callback','zoom', ...
        'Label','A&cercar', ...
        'Tag','acercar');
h2 = uimenu('Parent',h1, ...
        'Accelerator','l', ...
        'Callback','zoom out', ...
        'Label','A&lejar', ...
        'Tag','Alejar');
h1 = uimenu('Parent',h0, ...
        'Label','A&yuda', ...
        'Tag','Ayuda');
h2 = uimenu('Parent',h1, ...
        'Accelerator','H', ...
        'Callback','selayuda', ...
        'Label','&Temas de Ayuda', ...
        'Tag','temas');
h2 = uimenu('Parent',h1, ...
        'Callback','acerca', ...
        'Label','&Acerca de.....', ...
        'Tag','temas');

load resultados;
save var

% Define context menu
cm = uicontextmenu;

cb1=['grid on'];

```

```

cb2=['grid off'];
cb3=['zoom'];
cb4=['zoom out'];
% Define context menu items
item1 = uimenu(cm, 'Label', 'Máximo', 'Callback','maximo');
item2 = uimenu(cm, 'Label', 'Mínimo', 'Callback', 'minimo');
item3 = uimenu(cm, 'Label', 'Ubicar Punto', 'Callback','ubicar');
item4 = uimenu(cm, 'Label', 'Activar Divisiones', 'Callback',cb1);
item5 = uimenu(cm, 'Label', 'Desactivar Divisiones', 'Callback',cb2);
item6 = uimenu(cm, 'Label', 'Acercar', 'Callback',cb3);
item7 = uimenu(cm, 'Label', 'Alejar', 'Callback',cb4);

if accion == 1

    h = plot (T,X(:,1));
    valgrafy=X(:,1);
    valgrafx=T;
    k1='seg';
    k2='rad';
    save submnu;
    set(hline, 'UIContextMenu', cm)
    title('Angulo en Función del Tiempo','color',[0 0 0],'fontweight',...
        'bold','fontsize',12,'fontname','vardana','fontangle','italic');
    xlabel('Tiempo (seg)','color',[0 0 0],'fontweight','bold',...
        'fontsize',12,'fontname','vardana','fontangle','italic');
    ylabel('Angulo (rad)','color',[0 0 0],'fontweight','bold',...
        'fontsize',12,'fontname','vardana','fontangle','italic');

elseif accion == 2

    h = plot(T,X(:,2));
    valgrafy=X(:,2);
    valgrafx=T;
    k1='seg';
    k2='rad/seg';
    save submnu;
    set(hline, 'UIContextMenu', cm)
    title('Velocidad W en Función del Tiempo','color',[0 0
0],'fontweight',...
        'bold','fontsize',12,'fontname','vardana','fontangle','italic');
    xlabel('Tiempo (seg)','color',[0 0 0],'fontweight','bold',...
        'fontsize',12,'fontname','vardana','fontangle','italic');
    ylabel('W (rad/seg)','color',[0 0 0],'fontweight','bold',...
        'fontsize',12,'fontname','vardana','fontangle','italic');
elseif accion == 3;

    h = plot (T,X(:,3));
    valgrafy=X(:,3);
    valgrafx=T;
    k1='seg';
    k2='m';
    save submnu;
    set(hline, 'UIContextMenu', cm)
    title('Posición del Carro en Función del Tiempo','color',[0 0
0],'fontweight',...
        'bold','fontsize',12,'fontname','vardana','fontangle','italic');
    xlabel('Tiempo (seg)','color',[0 0 0],'fontweight','bold',...
        'fontsize',12,'fontname','vardana','fontangle','italic');
    ylabel('Posición (m)','color',[0 0 0],'fontweight','bold',...
        'fontsize',12,'fontname','vardana','fontangle','italic');

```

```

elseif accion == 4;

    h = plot (T,X(:,4));
    valgrafy=X(:,4);
    valgrafx=T;
    k1='seg';
    k2='m/s';
    save submnu;
    set(hline, 'UIContextMenu', cm)
    title('Velocidad del Carro en Función del Tiempo','color',[0 0
0], 'fontweight',...
        'bold', 'fontsize',12, 'fontname', 'vardana', 'fontangle', 'italic');
    xlabel('Tiempo (seg)', 'color',[0 0 0], 'fontweight', 'bold',...
        'fontsize',12, 'fontname', 'vardana', 'fontangle', 'italic');
    ylabel('Velocidad (m/seg)', 'color',[0 0 0], 'fontweight', 'bold',...
        'fontsize',12, 'fontname', 'vardana', 'fontangle', 'italic');
elseif accion == 5;
    set(hline, 'UIContextMenu', cm)
    h = plot(T,h);
    valgrafy=h;
    valgrafx=T;
    k1='seg';
    k2='J';
    save submnu;
    title('Energía del Péndulo en Función del Tiempo','color',[0 0
0], 'fontweight',...
        'bold', 'fontsize',12, 'fontname', 'vardana', 'fontangle', 'italic');
    xlabel('Tiempo (seg)', 'color',[0 0 0], 'fontweight', 'bold',...
        'fontsize',12, 'fontname', 'vardana', 'fontangle', 'italic');
    ylabel('Energía del Péndulo (J)', 'color',[0 0
0], 'fontweight', 'bold',...
        'fontsize',12, 'fontname', 'vardana', 'fontangle', 'italic');

elseif accion == 6;

    h = plot(X(:,3),X(:,1));
    valgrafy=X(:,1);
    valgrafx=X(:,3);
    k1='m';
    k2='rad';
    save submnu;
    set(hline, 'UIContextMenu', cm)
    title('Angulo en Función de la Posición del Carro','color',[0 0
0], 'fontweight',...
        'bold', 'fontsize',12, 'fontname', 'vardana', 'fontangle', 'italic');
    xlabel('Posicion del Carro (m)', 'color',[0 0
0], 'fontweight', 'bold',...
        'fontsize',12, 'fontname', 'vardana', 'fontangle', 'italic');
    ylabel('Angulo (rad)', 'color',[0 0 0], 'fontweight', 'bold',...
        'fontsize',12, 'fontname', 'vardana', 'fontangle', 'italic');
elseif accion == 7;

    h = plot(X(:,2),X(:,1));
    valgrafy=X(:,1);
    valgrafx=X(:,2);
    k1='rad/seg';
    k2='rad';
    save submnu;
    set(hline, 'UIContextMenu', cm)

```

```

    title('Angulo en Función de la Velocidad W','color',[0 0
0], 'fontweight',...
        'bold', 'fontsize',12, 'fontname', 'vardana', 'fontangle', 'italic');
    xlabel('W (rad/seg)', 'color',[0 0 0], 'fontweight', 'bold',...
        'fontsize',12, 'fontname', 'vardana', 'fontangle', 'italic');
    ylabel('Angulo (rad)', 'color',[0 0 0], 'fontweight', 'bold',...
        'fontsize',12, 'fontname', 'vardana', 'fontangle', 'italic');

elseif accion == 8;

    h = plot(X(:,4),X(:,2));
    valgrafy=X(:,2);
    valgrafx=X(:,4);
    k1='m/seg';
    k2='rad/seg';
    save submnu;
    set(hline, 'UIContextMenu', cm)
    title('Velocidad W en Función de la Velocidad del Carro','color',[0 0
0], 'fontweight',...
        'bold', 'fontsize',12, 'fontname', 'vardana', 'fontangle', 'italic');
    xlabel('Velocidad del carro (m/seg)', 'color',[0 0
0], 'fontweight', 'bold',...
        'fontsize',12, 'fontname', 'vardana', 'fontangle', 'italic');
    ylabel('W (rad/seg)', 'color',[0 0 0], 'fontweight', 'bold',...
        'fontsize',12, 'fontname', 'vardana', 'fontangle', 'italic');
elseif accion == 9;

    h = plot(X(:,3),X(:,2));
    valgrafy=X(:,2);
    valgrafx=X(:,3);
    k1='rad/seg';
    k2='m';
    save submnu;
    set(hline, 'UIContextMenu', cm);
    title('Velocidad W en Función de la Posición del Carro','color',[0 0
0], 'fontweight',...
        'bold', 'fontsize',12, 'fontname', 'vardana', 'fontangle', 'italic');
    xlabel('Posición del Carro Xc (m)', 'color',[0 0
0], 'fontweight', 'bold',...
        'fontsize',12, 'fontname', 'vardana', 'fontangle', 'italic');
    ylabel('W (rad/seg)', 'color',[0 0 0], 'fontweight', 'bold',...
        'fontsize',12, 'fontname', 'vardana', 'fontangle', 'italic');
elseif accion == 10;
    load datos2
    if hibri==1;
        load resultados
        h = plot(T1,u);
        valgrafy=u;
        valgrafx=T1;
    else
        load resultados
        h = plot(T,u);
        valgrafy=u;
        valgrafx=T;
    end
    save submnu;
    set(hline, 'UIContextMenu', cm);
    title('Control de Energía','color',[0 0 0], 'fontweight',...
        'bold', 'fontsize',12, 'fontname', 'vardana', 'fontangle', 'italic');
    xlabel('Tiempo', 'color',[0 0 0], 'fontweight', 'bold',...

```

```

        'fontsize',12,'fontname','vardana','fontangle','italic');
    ylabel('Señal de Control (Aceleración del Carro)','color',[0 0
0],'fontweight','bold',...
        'fontsize',12,'fontname','vardana','fontangle','italic');

elseif accion == 11;
    load datos2
    if hibri==1;
        load resultados
        F1=F';
        h = plot(T2(1:k),F1(1:k));
        valgrafy=F1;
        valgrafx=T2;
    else
        load resultados
        F1=F';
        h = plot(T,F1);
    valgrafy=F1;
    valgrafx=T;
    end
    save submnu;
    set(hline, 'UIContextMenu', cm);
    title('Rregulador de Posición','color',[0 0 0],'fontweight',...
        'bold','fontsize',12,'fontname','vardana','fontangle','italic');
    xlabel('Tiempo','color',[0 0 0],'fontweight','bold',...
        'fontsize',12,'fontname','vardana','fontangle','italic');
    ylabel('Señal de Control (Fuerza)','color',[0 0
0],'fontweight','bold',...
        'fontsize',12,'fontname','vardana','fontangle','italic');

end

if nargout > 0, fig = h0; end

```

function fig = guardar()

```

% This is the machine-generated representation of a Handle Graphics
object
% and its children. Note that handle values may change when these
objects
% are re-created. This may cause problems with any callbacks written to
% depend on the value of the handle at the time the object was saved.
% This problem is solved by saving the output as a FIG-file.
%
% To reopen this object, just type the name of the M-file at the MATLAB
% prompt. The M-file and its associated MAT-file must be on your path.
%
% NOTE: certain newer features in MATLAB may not have been saved in this
% M-file due to limitations of this format, which has been superseded by
% FIG-files. Figures which have been annotated using the plot editor
tools
% are incompatible with the M-file/MAT-file format, and should be saved
as
% FIG-files.

load guardar

```

```

h0 = figure('Color',[0.137254901960784 0.349019607843137
0.52156862745098], ...
'Colormap',mat0, ...
'FileName','D:\koki\tesis_pruebas\guardar.m', ...
'MenuBar','none', ...
'Name','GUARDAR', ...
'resize','off',...
'windowstyle','modal',...
'NumberTitle','off', ...
'PaperPosition',[280 148 200 200], ...
'PaperUnits','points', ...
'Position',[280 148 288 224], ...
'Tag','Fig5', ...
'ToolBar','none', ...
'DefaulttextColor',[1 1 1], ...
'DefaultaxesXColor',[1 1 1], ...
'DefaultaxesYColor',[1 1 1], ...
'DefaultaxesZColor',[1 1 1], ...
'DefaultpatchFaceColor',[1 1 1], ...
'DefaultpatchEdgeColor',[0 0 0], ...
'DefaultsurfaceEdgeColor',[0 0 0], ...
'DefaultlineColor',[1 1 1], ...
'DefaultaxesColor',[0 0.2 0.2]);
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
'Callback','close', ...
'FontSize',10, ...
'FontWeight','bold', ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[126.75 6 58.5 18.75], ...
'String','Salir', ...
'Tag','Pushbutton1');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0 0 0.627450980392157], ...
'Enable','off', ...
'ForegroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[67.5 33.75 87 105.75], ...
'Style','Pushbutton', ...
'Tag','Frame1');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
'Callback','garchivo', ...
'FontSize',10, ...
'FontWeight','bold', ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[48.75 6.75 63 18.75], ...
'String','Guardar', ...
'Tag','Pushbutton1');
hej1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
'Callback','Ejemplo1', ...

```

```

        'ListboxTop',0, ...
        'Position',[75 118.5 73.5 16.5], ...
        'String','Ejemplo 1', ...
    'Style','radiobutton', ...
    'value',1,...
    'Tag','ejmp1');
hej5 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'Callback','Ejemplo5', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[74.25 40.5 73.5 16.5], ...
    'String','Ejemplo 5', ...
    'Style','radiobutton', ...
    'Tag','ejmp5');
hej2 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'Callback','Ejemplo2', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[74.25 99 73.5 16.5], ...
    'String','Ejemplo 2', ...
    'Style','radiobutton', ...
    'Tag','ejmp2');
hej3 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'Callback','Ejemplo3', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[75 78.75 73.5 16.5], ...
    'String','Ejemplo 3', ...
    'Style','radiobutton', ...
    'Tag','ejmp3');
hej4 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'Callback','Ejemplo4', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[74.25 59.25 73.5 16.5], ...
    'String','Ejemplo 4', ...
    'Style','radiobutton', ...
    'Tag','ejmp4');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.137254901960784 0.349019607843137
0.52156862745098], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'FontAngle','italic', ...
    'FontName','Vardana', ...
    'FontSize',12, ...
    'FontWeight','bold', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'ForegroundColor',[0.768627450980392 0.768627450980392
0.768627450980392], ...
    'Position',[28.5 147 160.6 13.5], ...
    'String','Guardar los datos en el archivo:', ...

```

```

        'Style','text', ...
        'Tag','StaticText1');
save guarda;
if nargin > 0, fig = h0; end

```

```

function maximo();

```

```

load submnu
x = get(h,'XData'); % obtiene el dato del grafico
y = get(h,'YData');
imax = find(max(y) == y);% encuentra el; max
hold on
plot(x(imax),y(imax));
plot(x(imax),y(imax),'ro-');
set(hs4,'string',num2str(x(imax)));
set(hs5,'string',num2str(y(imax)));
text(x(imax),y(imax),['Máx = [' , num2str(x(imax)) ' , 'num2str(y(imax))
']' ],...
        'color',[0 0 0],...
        'VerticalAlignment','bottom',...
        'HorizontalAlignment','right',...
        'FontWeight','bold', ...
        'FontSize',7)

```

```

function minimo();

```

```

load submnu
x = get(h,'XData'); % obtiene el dato del grafico
y = get(h,'YData');
imin = find(min(y) == y);% encuentra el; max
hold on
plot(x(imin),y(imin));
plot(x(imin),y(imin),'ro-');
set(hs9,'string',num2str(x(imin)));
set(hs10,'string',num2str(y(imin)));
text(x(imin),y(imin),[' Min = [' , num2str(x(imin)) ' , 'num2str(y(imin))
']' ],...
        'color',[0 0 0],...
        'VerticalAlignment','top',...
        'HorizontalAlignment','left',...
        'FontWeight','bold', ...
        'FontSize',7)

```

```

function fig = pendulo()

```

```

% This is the machine-generated representation of a Handle Graphics
object
% and its children. Note that handle values may change when these
objects
% are re-created. This may cause problems with any callbacks written to
% depend on the value of the handle at the time the object was saved.
% This problem is solved by saving the output as a FIG-file.
%

```

```

% To reopen this object, just type the name of the M-file at the MATLAB
% prompt. The M-file and its associated MAT-file must be on your path.
%
% NOTE: certain newer features in MATLAB may not have been saved in this
% M-file due to limitations of this format, which has been superseded by
% FIG-files. Figures which have been annotated using the plot editor
tools
% are incompatible with the M-file/MAT-file format, and should be saved
as
% FIG-files.
close all
load pendulo
h0 = figure('Color',[0.0117647058823529 0.411764705882353
0.470588235294118], ...
    'Colormap',mat0, ...
    'FileName','C:\MATLABR11\work\tesis_pruebas\pendulo.m', ...
    'MenuBar','none', ...
    'Name','PENDULO INVERTIDO: INGRESO DE DATOS', ...
    'NumberTitle','off', ...
    'PaperPosition',[186 141.75 420 328.5], ...
    'PaperUnits','points', ...
    'Position',[60 38 675 503], ...
    'Resize','off', ...
    'Tag','Fig2', ...
    'ToolBar','none', ...
    'DefaulttextColor',[1 1 1], ...
    'DefaultaxesXColor',[1 1 1], ...
    'DefaultaxesYColor',[1 1 1], ...
    'DefaultaxesZColor',[1 1 1], ...
    'DefaultpatchFaceColor',[1 1 1], ...
    'DefaultpatchEdgeColor',[0 0 0], ...
    'DefaultsurfaceEdgeColor',[0 0 0], ...
    'DefaultlineColor',[1 1 1], ...
    'DefaultaxesColor',[0 0.2 0.2]);
h1 = uimenu('Parent',h0, ...
    'Label','&Archivo', ...
    'Tag','archivo');
h2 = uimenu('Parent',h1, ...
    'Accelerator','O', ...
    'Callback','abrir', ...
    'Label','&Abrir Datos', ...
    'Tag','abrir');
h2 = uimenu('Parent',h1, ...
    'Accelerator','G', ...
    'Callback','guardar', ...
    'Label','&Guardar Datos', ...
    'Tag','guardar');
hmens = uimenu('Parent',h1, ...
    'Accelerator','S', ...
    'Callback','close all', ...
    'Label','&Salir', ...
    'Tag','sale');
h1 = uimenu('Parent',h0, ...
    'Label','&Opciones', ...
    'Tag','uimenu1');
hmenr = uimenu('Parent',h1, ...
    'Accelerator','R', ...
    'Callback','res', ...
    'Label','&Reset', ...
    'Tag','Opcionesuimenu3');

```

```

hmenc = uimenu('Parent',h1, ...
    'Accelerator','C', ...
    'Callback','datos', ...
    'Label','&Continuar', ...
    'Tag','Opcionesuimenu1');
hmena = uimenu('Parent',h1, ...
    'Accelerator','A', ...
    'Callback','presentacion', ...
    'Label','&Atras', ...
    'Tag','Opcionesuimenu2');
h1 = uimenu('Parent',h0, ...
    'Label','A&yuda', ...
    'Tag','Ayuda');
h2 = uimenu('Parent',h1, ...
    'Accelerator','H', ...
    'Callback','selayuda', ...
    'Label','&Temas de Ayuda', ...
    'Tag','temas');
h2 = uimenu('Parent',h1, ...
    'Callback','acerca', ...
    'Label','&Acerca de.....', ...
    'Tag','temas');
hpusha = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','normalized', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'Callback','presentacion', ...
    'FontSize',12, ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[0.6128571428571429 0.06 0.1 0.062], ...
    'String','<< Atras', ...
    'Tag','Pushbutton3', ...
    'TooltipString','Regresa a la Presentación');
hpushc = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','normalized', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'Callback','datos', ...
    'FontSize',12, ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[0.8314285714285714 0.06 0.1 0.06], ...
    'String','Cont.>>', ...
    'Tag','Pushbutton2', ...
    'TooltipString','Continúa con el Programa');
hpushr = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','normalized', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'Callback','res', ...
    'FontSize',12, ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[0.3557142857142857 0.06 0.1 0.06], ...
    'String','Reset', ...
    'Tag','Pushbutton2', ...
    'TooltipString','Devuelve los parámetros por defecto');
hpushs = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','normalized', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'Callback','close all', ...

```

```

        'FontSize',12, ...
        'ListboxTop',0, ...
        'Position',[0.09142857142857143 0.06 0.1 0.06], ...
        'String','< Salir >', ...
        'Tag','Pushbutton1', ...
        'TooltipString','Sale del Programa');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','normalized', ...
    'BackgroundColor',[0 0 0], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',mat1, ...
    'Style','frame', ...
    'Tag','frame1');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','normalized', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[0.1614285714285714 0.736 0.6914285714285714 0.184], ...
    'Style','frame', ...
    'Tag','frame2');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','normalized', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'FontName','Garamond', ...
    'fontSize',11,...
    'FontWeight','bold', ...
    'ForegroundColor',[0 0 0.501960784313725], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[0.36 0.874 0.2857142857142857 0.032], ...
    'String','DATOS DEL SISTEMA', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','datos');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','normalized', ...
    'FontSize',9, ...
    'FontWeight','bold', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[0.2085714285714286 0.8260000000000001 0.17 0.028], ...
    'String','Masa del Péndulo', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','stextmp');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','normalized', ...
    'FontSize',9, ...
    'FontWeight','bold', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[0.4242857142857143 0.8260000000000001 0.14 0.028], ...
    'String','Masa del Carro', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','stextmc');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','normalized', ...
    'FontSize',9, ...
    'FontWeight','bold', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[0.6 0.8260000000000001 0.19 0.028], ...
    'String','Longitud del Péndulo', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','stextlp');
hmp = uicontrol('Parent',h0, ...

```

```

    'Units','normalized', ...
'BackgroundColor',[0 0.1 0.5], ...
    'Callback','actualizar', ...
    'FontWeight','bold', ...
    'ForegroundColor',[1 1 0], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[0.24 0.776 0.09857142857142857 0.04], ...
    'String','0.2', ...
    'Style','edit', ...
    'Tag','textmp', ...
    'Value',1);
hmc = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','normalized', ...
    'BackgroundColor',[0 0.1 0.5], ...
    'FontWeight','bold', ...
    'ForegroundColor',[1 1 0], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[0.45 0.776 0.09857142857142857 0.04], ...
    'String','0.5', ...
    'Style','edit', ...
    'Tag','textmc', ...
    'Value',1);
hlp = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','normalized', ...
    'BackgroundColor',[0 0.1 0.5], ...
    'Callback','actualizar', ...
    'FontWeight','bold', ...
    'ForegroundColor',[1 1 0], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[0.65 0.776 0.09857142857142857 0.04], ...
    'String','0.6', ...
    'Style','edit', ...
    'Tag','textlp', ...
    'Value',1);
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','normalized', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[0.05028571428571428 0.5720000000000001
0.4628571428571429 0.082], ...
    'Style','frame', ...
    'Tag','Frame4');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','normalized', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'FontSize',10, ...
    'FontWeight','bold', ...
    'HorizontalAlignment','left', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[0.06185185185185185 0.588469184890656
0.2962962962962963 0.03976143141153081], ...
    'String','Aceleración de la Gravedad:', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','stextlp');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','normalized', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...

```

```

        'FontSize',8, ...
        'FontWeight','bold', ...
        'HorizontalAlignment','left', ...
        'ListboxTop',0, ...
        'Position',[0.44585185185185185 0.588469184890656
0.05262962962963 0.03976143141153081], ...
        'String','m/s^2', ...
        'Style','text', ...
        'Tag','stextlp');
hgrav = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','normalized', ...
    'BackgroundColor',[0 0.1 0.5], ...
    'Callback','actualizar', ...
    'FontWeight','bold', ...
    'ForegroundColor',[1 1 0], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[0.3614285714285714 0.59 0.08 0.04], ...
    'String','9.8', ...
    'Style','edit', ...
    'Tag','textgrav', ...
    'Value',1);
hl = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','normalized', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[0.5271428571428571 0.5730000000000001
0.4357142857142857 0.08], ...
    'Style','frame', ...
    'Tag','Frame3');
hl = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','normalized', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'FontSize',10, ...
    'FontWeight','bold', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[0.534142857142857 0.592 0.315714285714286 0.04], ...
    'String','Energía deseada ( Máx: mgl ):', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','stexteng');
hl = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','normalized', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'FontSize',10, ...
    'FontWeight','bold', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[0.9094142857142857 0.59 0.0515714285714286 0.04], ...
    'String','J', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','stexteng');
heng = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','normalized', ...
    'BackgroundColor',[0 0.1 0.5], ...
    'FontWeight','bold', ...
    'ForegroundColor',[1 1 0], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[0.8448571428571429 0.592 0.08 0.04], ...
    'String','1.17', ...

```

```

        'Style','edit', ...
        'Tag','text', ...
        'Value',1);
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','normalized', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[0.115 0.18720000000000001 0.42028571428571429 0.3482], ...
    'Style','frame', ...
    'Tag','Frame2');
h = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','normalized', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'FontName','Garamond', ...
    'fontSize',11, ...
    'FontWeight','bold', ...
    'ForegroundColor',[0 0 0.501960784313725], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[0.1718518518518518 0.4632803180914513
0.3007407407407408 0.04174950298210736], ...
    'String','CONDICIONES INICIALES ', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','stextXo');
hang = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','normalized', ...
    'BackgroundColor',[0 0.1 0.5], ...
    'FontWeight','bold', ...
    'ForegroundColor',[1 1 0], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[0.3822222222222222 0.4035785288270377
0.07111111111111111 0.03976143141153081], ...
    'String','180', ...
    'Style','edit', ...
    'Tag','textang', ...
    'TooltipString','Posición angular inicial del péndulo', ...
    'Value',1);
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','normalized', ...
    'FontName','Symbol', ...
    'FontSize',12, ...
    'FontWeight','bold', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[0.3481481481481482 0.4055666003976143
0.03111111111111111 0.03976143141153081], ...
    'String','q:', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','stexteta');
hw = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','normalized', ...
    'BackgroundColor',[0 0.1 0.5], ...
    'FontWeight','bold', ...
    'ForegroundColor',[1 1 0], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[0.3822222222222222 0.3499005964214712
0.07111111111111111 0.03976143141153081], ...
    'String','0', ...
    'Style','edit', ...
    'Tag','textw', ...

```

```

        'TooltipString','Velocidad angular inicial del péndulo', ...
        'Value',1);
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','normalized', ...
    'FontSize',10, ...
    'FontWeight','bold', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[0.3451851851851852 0.3558648111332007
0.03407407407407407 0.03180914512922465], ...
    'String','w :', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','stexteta');
hxc = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','normalized', ...
    'BackgroundColor',[0 0.1 0.5], ...
    'FontWeight','bold', ...
    'ForegroundColor',[1 1 0], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[0.3822222222222222 0.294234592445328
0.07259259259259258 0.03976143141153081], ...
    'String','0', ...
    'Style','edit', ...
    'Tag','textpos', ...
    'TooltipString','Posición inicial del carro', ...
    'Value',1);
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','normalized', ...
    'FontSize',10, ...
    'FontWeight','bold', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[0.3362962962962963 0.2982107355864811
0.04296296296296296 0.03180914512922465], ...
    'String','Xc :', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','stextXc');
hvc = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','normalized', ...
    'BackgroundColor',[0 0.1 0.5], ...
    'FontWeight','bold', ...
    'ForegroundColor',[1 1 0], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[0.3822222222222222 0.2365805168986083
0.07111111111111111 0.03976143141153081], ...
    'String','0', ...
    'Style','edit', ...
    'Tag','textVc', ...
    'TooltipString','Velocidad inicial del carro', ...
    'Value',1);
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','normalized', ...
    'FontSize',10, ...
    'FontWeight','bold', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[0.3333333333333333 0.2326043737574552
0.04740740740740741 0.04174950298210736], ...
    'String','Vc :', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','stextVc');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','normalized', ...

```

```

        'ListboxTop',0, ...
        'Position',[0.59 0.182 0.378 0.08], ...
        'Style','frame', ...
        'Tag','Frame1');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','normalized', ...
    'FontSize',10, ...
    'FontWeight','bold', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[0.6 0.202 0.25 0.038], ...
    'String','Tiempo de simulación :', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','tsimulacion');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','normalized', ...
    'FontSize',10, ...
    'FontWeight','bold', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[0.9254142857142857 0.202 0.04000714285714286 0.04], ...
    'String','s', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','tsimulacion');
htiempo = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','normalized', ...
    'BackgroundColor',[0 0.1 0.5], ...
    'FontWeight','bold', ...
    'ForegroundColor',[1 1 0], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[0.86 0.202 0.07142857142857143 0.04], ...
    'String','5', ...
    'Style','edit', ...
    'Tag','tiempo', ...
    'Value',1);
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','normalized', ...
    'BackgroundColor',[0 0.101960784313725 0.501960784313725], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[0.61 0.288 0.308571428571429 0.22], ...
    'Style','frame', ...
    'Tag','Checkboxes', ...
    'UserData','[ ]');
hr1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','normalized', ...
    'Callback','chequeo', ...
    'FontSize',10, ...
    'FontWeight','bold', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[0.62 0.44 0.29 0.056], ...
    'String',' Control de Energía', ...
    'Style','radiobutton', ...
    'Tag','energia');
hr2 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','normalized', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'Callback','chequeo1', ...
    'FontSize',10, ...
    'FontWeight','bold', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[0.62 0.37 0.29 0.058], ...

```

```

    'String',' Regulador de Posición', ...
    'Style','radiobutton', ...
    'Tag','regulacion');
hr3 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','normalized', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'Callback','chequeo2', ...
    'FontSize',10, ...
    'FontWeight','bold', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[0.62 0.302 0.29 0.056], ...
    'String',' Control Híbrido', ...
    'Style','radiobutton', ...
    'Tag','hibrido', ...
    'Value',1);
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'FontUnits','normalized', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'FontSize',0.395061728395062, ...
    'FontWeight','demi', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[173.25 293.25 15 12.75], ...
    'String','Kg', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','StaticText1');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'FontUnits','normalized', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'FontSize',0.395061728395062, ...
    'FontWeight','demi', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[279 294 15 12.75], ...
    'String','Kg', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','StaticText1');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'FontUnits','normalized', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'FontSize',0.395061728395062, ...
    'FontWeight','demi', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[379.5 294 15 12.75], ...
    'String','m', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','StaticText1');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'FontWeight','demi', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[75 155.25 78.75 12], ...
    'String','Posición Angular ', ...

```

```

        'Style','text', ...
        'Tag','StaticText2');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'FontWeight','demi', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[72.75 111 85.5 12], ...
    'String','Posición del Carro', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','StaticText2');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'FontWeight','demi', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[68.25 132.75 93 12], ...
    'String','Velocidad Angular', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','StaticText2');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'FontWeight','demi', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[75.75 89.25 84 12], ...
    'String','Velocidad del Carro', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','StaticText2');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'FontWeight','demi', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[231 111.75 20.25 12], ...
    'String','m', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','StaticText2');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'FontWeight','demi', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[231.75 132.75 30.75 12], ...
    'String','rad/s ', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','StaticText2');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'FontWeight','demi', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[230.25 90.75 30.75 12], ...
    'String','m/s ', ...

```

```

        'Style','text', ...
        'Tag','StaticText2');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'FontWeight','demi', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[231 153.75 30.75 12], ...
    'String','Grados ', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','StaticText2');

save chequeos
save arch;
if nargout > 0, fig = h0; end

```

function fig = presentacion()

```

% This is the machine-generated representation of a Handle Graphics
object
% and its children. Note that handle values may change when these
objects
% are re-created. This may cause problems with any callbacks written to
% depend on the value of the handle at the time the object was saved.
% This problem is solved by saving the output as a FIG-file.
%
% To reopen this object, just type the name of the M-file at the MATLAB
% prompt. The M-file and its associated MAT-file must be on your path.
%
% NOTE: certain newer features in MATLAB may not have been saved in this
% M-file due to limitations of this format, which has been superseded by
% FIG-files. Figures which have been annotated using the plot editor
tools
% are incompatible with the M-file/MAT-file format, and should be saved
as
% FIG-files.

load presentacion
close all
h0 = figure('BackingStore','off', ...
    'Color',[0.0352941176470588 0.207843137254902 0.325490196078431],
...
    'Colormap',mat0, ...
    'FileName','C:\Mis documentos\tesis_pruebas\presentacion.m', ...
    'MenuBar','none', ...
    'Name','PRESENTACION', ...
    'NumberTitle','off', ...
    'PaperOrientation','landscape', ...
    'PaperPosition',[186 141.75 420 328.5], ...
    'PaperUnits','points', ...
    'Position',[60 38 675 503], ...
    'Resize','off', ...
    'ShareColors','off', ...
    'Tag','Fig1', ...
    'ToolBar','none');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...

```

```

        'BackgroundColor', [0.0117647058823529 0.411764705882353
0.470588235294118], ...
        'FontAngle', 'italic', ...
        'FontSize', 20, ...
        'ForegroundColor', [1 1 1], ...
        'HorizontalAlignment', 'left', ...
        'ListboxTop', 0, ...
        'Max', 2, ...
        'Position', [127.5 288 350.25 61.5], ...
        'Style', 'frame', ...
        'Tag', 'Frame3');
h1 = uicontrol('Parent', h0, ...
        'Units', 'points', ...
        'BackgroundColor', [0.0117647058823529 0.411764705882353
0.470588235294118], ...
        'ListboxTop', 0, ...
        'Position', [283.5 102.75 215.25 75.75], ...
        'Style', 'frame', ...
        'Tag', 'Frame1', ...
        'UserData', '[ ]');
h1 = uicontrol('Parent', h0, ...
        'Units', 'normalized', ...
        'BackgroundColor', [0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
        'Callback', 'close', ...
        'FontSize', 10, ...
        'FontWeight', 'bold', ...
        'ListboxTop', 0, ...
        'Position', [0.6444444444444445 0.07952286282306162
0.2622222222222222 0.06560636182902584], ...
        'String', '<<Salir', ...
        'Tag', 'Pushbutton2', ...
        'TooltipString', 'Sale del Programa');
h1 = uicontrol('Parent', h0, ...
        'Units', 'normalized', ...
        'BackgroundColor', [0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
        'Callback', 'pendulo', ...
        'FontSize', 10, ...
        'FontWeight', 'bold', ...
        'ListboxTop', 0, ...
        'Position', [0.6444444444444445 0.1749502982107356
0.2622222222222222 0.0636182902584493], ...
        'String', 'Continuar >>', ...
        'Tag', 'Pushbutton1', ...
        'TooltipString', 'Ejecuta el Programa');
h1 = uicontrol('Parent', h0, ...
        'BackgroundColor', [0.0352941176470588 0.207843137254902
0.325490196078431], ...
        'FontAngle', 'italic', ...
        'FontName', 'Garamond', ...
        'FontSize', 22, ...
        'FontWeight', 'bold', ...
        'ForegroundColor', [0.717647058823529 0.886274509803922
0.956862745098039], ...
        'ListboxTop', 0, ...
        'Position', [191 331 438 32], ...
        'String', '" ELECTRONICA Y CONTROL"', ...
        'Style', 'text', ...
        'Tag', 'StaticText4');

```

```

h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'FontUnits','inches', ...
    'BackgroundColor',[0.0117647058823529 0.411764705882353
0.470588235294118], ...
    'FontName','garamond', ...
    'FontSize',0.1181, ...
    'FontWeight','bold', ...
    'ForegroundColor',[1 1 1], ...
    'HorizontalAlignment','left', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[290.25 161.25 77.25 9], ...
    'String','REALIZADO POR:', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','StaticText1');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.0117647058823529 0.411764705882353
0.470588235294118], ...
    'FontName','times new roman', ...
    'FontSize',10.8275862068965, ...
    'FontWeight','bold', ...
    'ForegroundColor',[1 1 1], ...
    'HorizontalAlignment','left', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[368.25 147.75 113.25 12.75], ...
    'String','Jorge Carrión Morales', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','StaticText1');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.0117647058823529 0.411764705882353
0.470588235294118], ...
    'FontName','times new roman', ...
    'FontSize',10.8275862068965, ...
    'FontWeight','bold', ...
    'ForegroundColor',[1 1 1], ...
    'HorizontalAlignment','left', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[369.75 124.5 102.75 12.75], ...
    'String','Ing. Marco Barragan', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','StaticText1');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.0352941176470588 0.207843137254902
0.325490196078431], ...
    'FontAngle','italic', ...
    'FontName','GARAMOND', ...
    'FontSize',16, ...
    'FontWeight','bold', ...
    'ForegroundColor',[0.717647058823529 0.886274509803922
0.956862745098039], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[24.75 213 248.25 15], ...
    'String','"Simulación de un Control Híbrido', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','StaticText2');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...

```

```

    'BackgroundColor', [0.0352941176470588 0.207843137254902
0.325490196078431], ...
    'FontAngle', 'italic', ...
    'FontName', 'GARAMOND', ...
    'FontSize', 16, ...
    'FontWeight', 'bold', ...
    'ForegroundColor', [0.717647058823529 0.886274509803922
0.956862745098039], ...
    'ListboxTop', 0, ...
    'Position', [51 189.75 195.75 18.75], ...
    'String', 'para el Péndulo Invertido"', ...
    'Style', 'text', ...
    'Tag', 'StaticText2');
h1 = uicontrol('Parent', h0, ...
    'Units', 'points', ...
    'FontUnits', 'inches', ...
    'BackgroundColor', [0.0117647058823529 0.411764705882353
0.470588235294118], ...
    'FontName', 'Garamond', ...
    'FontSize', 0.118083333333333, ...
    'FontWeight', 'bold', ...
    'ForegroundColor', [1 1 1], ...
    'HorizontalAlignment', 'left', ...
    'ListboxTop', 0, ...
    'Position', [291.75 132 67.5 9], ...
    'String', 'DIRIGIDO POR:', ...
    'Style', 'text', ...
    'Tag', 'StaticText1');
h1 = uicontrol('Parent', h0, ...
    'Units', 'points', ...
    'FontUnits', 'inches', ...
    'BackgroundColor', [0.0117647058823529 0.411764705882353
0.470588235294118], ...
    'FontName', 'times new roman', ...
    'FontSize', 0.118, ...
    'ForegroundColor', [1 1 1], ...
    'HorizontalAlignment', 'left', ...
    'ListboxTop', 0, ...
    'Position', [345 108.75 82 8], ...
    'String', 'Marzo / 00 - Julio / 01', ...
    'Style', 'text', ...
    'Tag', 'StaticText1', ...
    'Value', 1);
h1 = uicontrol('Parent', h0, ...
    'BackgroundColor', [0.0117647058823529 0.411764705882353
0.470588235294118], ...
    'BusyAction', 'cancel', ...
    'FontName', 'verdana ', ...
    'FontSize', 20, ...
    'FontWeight', 'bold', ...
    'ForegroundColor', [1 1 1], ...
    'HorizontalAlignment', 'left', ...
    'Interruptible', 'off', ...
    'ListboxTop', 0, ...
    'Position', [288 392 243 30], ...
    'String', 'Escuela de Ingeniería', ...
    'Style', 'text', ...
    'Tag', 'StaticText5', ...
    'UserData', '[ ]');
h1 = uicontrol('Parent', h0, ...

```

```

    'BackgroundColor',[0.0117647058823529 0.411764705882353
0.470588235294118], ...
    'FontName','Ms Sans', ...
    'FontSize',28, ...
    'FontWeight','bold', ...
    'ForegroundColor',[1 1 1], ...
    'HorizontalAlignment','left', ...
    'Interruptible','off', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[181 424 450 37], ...
    'String','Escuela Politécnica Nacional', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','StaticText5', ...
    'UserData','[ ]');
h1 = axes('Parent',h0, ...
    'Box','on', ...
    'CameraUpVector',[0 1 0], ...
    'CameraUpVectorMode','manual', ...
    'CameraViewAngle',4.60861036031192, ...
    'CameraViewAngleMode','manual', ...
    'Color',[1 1 1], ...
    'ColorOrder',mat1, ...
    'DataAspectRatio',[381 370 1], ...
    'DataAspectRatioMode','manual', ...
    'HandleVisibility','off', ...
    'HitTest','off', ...
    'Interruptible','off', ...
    'PlotBoxAspectRatioMode','manual', ...
    'Position',[0.088888888888888888 0.121272365805169
0.7748148148148147 0.8151093439363817], ...
    'Tag','Axes1', ...
    'TickDirMode','manual', ...
    'UserData','[ ]', ...
    'Visible','off', ...
    'WarpToFill','off', ...
    'WarpToFillMode','manual', ...
    'XColor',[0 0 0], ...
    'XLim',[0.5 381.5], ...
    'XLimMode','manual', ...
    'YColor',[0 0 0], ...
    'YDir','reverse', ...
    'YLim',[0.5 370.5], ...
    'YLimMode','manual', ...
    'YTickLabel',['100';'200';'300'], ...
    'YTickLabelMode','manual', ...
    'ZColor',[0 0 0]);
h2 = image('Parent',h1, ...
    'CData',mat2, ...
    'Tag','Axes1Image1', ...
    'XData',[1 80], ...
    'YData',[50 140]);
h2 = text('Parent',h1, ...
    'Color',[0 0 0], ...
    'HandleVisibility','off', ...
    'HorizontalAlignment','center', ...
    'Position',[190.3507470985553 385.6863112787708 9.160254037844386],
...
    'Tag','Axes1Text4', ...
    'VerticalAlignment','cap', ...
    'Visible','off');

```

```

set(get(h2,'Parent'),'XLabel',h2);
h2 = text('Parent',h1, ...
    'Color',[0 0 0], ...
    'HandleVisibility','off', ...
    'HorizontalAlignment','center', ...
    'Position',[-20.00719296951517 186.4457621005296
9.160254037844386], ...
    'Rotation',90, ...
    'Tag','Axes1Text3', ...
    'VerticalAlignment','baseline', ...
    'Visible','off');
set(get(h2,'Parent'),'YLabel',h2);
h2 = text('Parent',h1, ...
    'Color',[0 0 0], ...
    'HandleVisibility','off', ...
    'HorizontalAlignment','right', ...
    'Position',[-18.05943426518119 37.01535021684873
9.160254037844386], ...
    'Tag','Axes1Text2', ...
    'Visible','off');
set(get(h2,'Parent'),'ZLabel',h2);
h2 = text('Parent',h1, ...
    'Color',[0 0 0], ...
    'HandleVisibility','off', ...
    'HorizontalAlignment','center', ...
    'Position',[190.3507470985553 -3.3371660724153 9.160254037844386],
...
    'Tag','Axes1Text1', ...
    'VerticalAlignment','bottom', ...
    'Visible','off');
set(get(h2,'Parent'),'Title',h2);
h1 = axes('Parent',h0, ...
    'Box','on', ...
    'CameraUpVector',[0 1 0], ...
    'CameraUpVectorMode','manual', ...
    'CameraViewAngle',4.60861036031192, ...
    'CameraViewAngleMode','manual', ...
    'Color',[1 1 1], ...
    'ColorOrder',mat3, ...
    'DataAspectRatio',[381 370 1], ...
    'DataAspectRatioMode','manual', ...
    'HandleVisibility','off', ...
    'HitTest','off', ...
    'Interruptible','off', ...
    'PlotBoxAspectRatioMode','manual', ...
    'Position',[0.12888888888888889 0.1133200795228628
0.7748148148148147 0.8151093439363817], ...
    'Tag','Axes1', ...
    'TickDirMode','manual', ...
    'UserData','[ ]', ...
    'Visible','off', ...
    'WarpToFill','off', ...
    'WarpToFillMode','manual', ...
    'XColor',[0 0 0], ...
    'XLim',[0.5 381.5], ...
    'XLimMode','manual', ...
    'YColor',[0 0 0], ...
    'YDir','reverse', ...
    'YLim',[0.5 370.5], ...
    'YLimMode','manual', ...

```

```

        'YTickLabel', ['100'; '200'; '300'], ...
        'YTickLabelMode', 'manual', ...
        'ZColor', [0 0 0]);
h2 = image('Parent', h1, ...
        'CData', mat4, ...
        'Tag', 'Axes1Image1', ...
        'XData', [1 190], ...
        'YData', [200 310]);
h2 = text('Parent', h1, ...
        'Color', [0 0 0], ...
        'HandleVisibility', 'off', ...
        'HorizontalAlignment', 'center', ...
        'Position', [190.3507470985554 385.6863112787708 9.160254037844386],
        ...
        'Tag', 'Axes1Text4', ...
        'VerticalAlignment', 'cap', ...
        'Visible', 'off');
set(get(h2, 'Parent'), 'XLabel', h2);
h2 = text('Parent', h1, ...
        'Color', [0 0 0], ...
        'HandleVisibility', 'off', ...
        'HorizontalAlignment', 'center', ...
        'Position', [-20.00719296951517 186.4457621005296
9.160254037844386], ...
        'Rotation', 90, ...
        'Tag', 'Axes1Text3', ...
        'VerticalAlignment', 'baseline', ...
        'Visible', 'off');
set(get(h2, 'Parent'), 'YLabel', h2);
h2 = text('Parent', h1, ...
        'Color', [0 0 0], ...
        'HandleVisibility', 'off', ...
        'HorizontalAlignment', 'right', ...
        'Position', [-35.58926260418706 34.49331794876974
9.160254037844386], ...
        'Tag', 'Axes1Text2', ...
        'Visible', 'off');
set(get(h2, 'Parent'), 'ZLabel', h2);
h2 = text('Parent', h1, ...
        'Color', [0 0 0], ...
        'HandleVisibility', 'off', ...
        'HorizontalAlignment', 'center', ...
        'Position', [190.3507470985554 -3.3371660724153 9.160254037844386],
        ...
        'Tag', 'Axes1Text1', ...
        'VerticalAlignment', 'bottom', ...
        'Visible', 'off');
set(get(h2, 'Parent'), 'Title', h2);
if nargin > 0, fig = h0; end

```

```
function repetir();
```

```
load arc hmrepet hmsim hprepet hpsim hmatras hpatras;
```

```
vlor=get(hprepet, 'enable');
```

```
if vlor=='on'
```

```
    set(hprepet, 'enable', 'off');
```

```
end
```

```

vlor=get(hpsim,'enable');
if vlor=='on'
    set(hpsim,'enable','off');
end
vlor=get(hpatras,'enable');
if vlor=='on'
    set(hpatras,'enable','off');
end

load resultados

    carpos = X(:,3);
    pendang =X(:,1);

% dimensiones del pendulo y del carro
    carlong= 0.3;
    car2 = carlong/2;
    ltime = length(carpos);

    carizq=carpos-car2;
    carder=carpos+car2;

    pendang=pendang;
    lpend =2*L;

    px=lpend*sin(pendang) + carpos;
    py=lpend*cos(pendang) + 0.03;

save tiempo;

    %graficación del estado inicial del pendulo

hold on

    pend= plot([carpos(1) px(1)],[0.03 py(1)], 'k', 'erasemode',...
        'xor','linewidth',[7]);
    car = plot([carizq(1) carder(1)],[0 0], 'k', 'erasemode',...
        'xor','linewidth',[20]);
        set(car,'XData',[carizq(ltime-1) carder(ltime-1)]);
        set(pend,'XData',[carpos(ltime-1) px(ltime-1)]);
        set(pend,'YData',[0.03 py(ltime-1)]);
        drawnow;

    pend= plot([carpos(1) px(1)],[0.03 py(1)], 'k', 'erasemode',...
        'xor','linewidth',[7]);
    car = plot([carizq(1) carder(1)],[0 0], 'k', 'erasemode',...
        'xor','linewidth',[20]);
    xlim=max(abs(carpos)); %setea los limites del eje x
    xlim= xlim + carlong;
    if xlim < 1;
        xlim = 1;
    end

    axis ([-xlim xlim -1 1]);
    title('ANIMACION DEL PENDULO INVERTIDO');

%simulación
load velocidad velo

```

```

for i=2:itime-1
    set(car,'XData',[carizq(i) carder(i)]);
    set(pend,'XData',[carpos(i) px(i)]);
    set(pend,'YData',[0.03 py(i)]);
    for z=1:floor(7188*exp(-3.098*velo));
        z=z+1;
    end
    drawnow;
end
set(hprepet,'enable','on');
set(hpsim,'enable','on');
set(hpatras,'enable','on');

```

function res()

```

load arch;
set(hmc,'string','0.5');
set(hmp,'string','0.2');
set(hlp,'string','0.6');
set(hgrav,'string','9.8');
set(heng,'string','1.17');
set(hang,'string','180');
set(hw,'string','0');
set(hxc,'string','0');
set(hvc,'string','0');
set(htiempo,'string','5');
set(hr1,'value',0);
set(hr2,'value',0);
set(hr3,'value',1);

```

function fig = result()

```

% This is the machine-generated representation of a Handle Graphics
object
% and its children. Note that handle values may change when these
objects
% are re-created. This may cause problems with any callbacks written to
% depend on the value of the handle at the time the object was saved.
% This problem is solved by saving the output as a FIG-file.
%
% To reopen this object, just type the name of the M-file at the MATLAB
% prompt. The M-file and its associated MAT-file must be on your path.
%
% NOTE: certain newer features in MATLAB may not have been saved in this
% M-file due to limitations of this format, which has been superseded by
% FIG-files. Figures which have been annotated using the plot editor
tools
% are incompatible with the M-file/MAT-file format, and should be saved
as
% FIG-files.

load datos1;

h = waitbar(0,'');
    h0 = uicontrol('Parent',h, ...
        'Units','normalized', ...
        'FontSize',9, ...

```

```

    'FontWeight','bold', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'ForegroundColor',[0 0 0.6020], ...
    'Position',[ 0.330555555555556 0.56 0.4 0.226666666666667], ...
    'String','Calculando.....', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','stextmc');
    for i=1:(350*tsimu); % aqui hace los calculos %
        waitbar(i/(350*tsimu));
    end
    close(h)

```

```

load resnumer;
num=size(X);
for i=1:num(1,1);
    rnum(i,1)=i;
end
rnum(:,2)=T-floor(T);
rnum(:,2)=rnum(:,2)-((floor(10*rnum(:,2)))/10);
rnum(:,2)=rnum(:,2)-((floor(100*rnum(:,2)))/100);
rnum(:,2)=rnum(:,2)-((floor(1000*rnum(:,2)))/1000);
rnum(:,2)=rnum(:,2)-((floor(10000*rnum(:,2)))/10000);
rnum(:,2)=T-rnum(:,2);

rnum(:,3)=X(:,1)*180/pi;
rnum(:,3)=(X(:,1)*180/pi)-floor(X(:,1)*180/pi);
rnum(:,3)=rnum(:,3)-((floor(10*rnum(:,3)))/10);
rnum(:,3)=rnum(:,3)-((floor(100*rnum(:,3)))/100);
rnum(:,3)=rnum(:,3)-((floor(1000*rnum(:,3)))/1000);
rnum(:,3)=rnum(:,3)-((floor(10000*rnum(:,3)))/10000);
rnum(:,3)=(X(:,1)*180/pi)-rnum(:,3);

rnum(:,4)=X(:,2)-floor(X(:,2));
rnum(:,4)=rnum(:,4)-((floor(10*rnum(:,4)))/10);
rnum(:,4)=rnum(:,4)-((floor(100*rnum(:,4)))/100);
rnum(:,4)=rnum(:,4)-((floor(1000*rnum(:,4)))/1000);
rnum(:,4)=X(:,2)-rnum(:,4);

rnum(:,5)=X(:,3)-floor(X(:,3));
rnum(:,5)=rnum(:,5)-((floor(10*rnum(:,5)))/10);
rnum(:,5)=rnum(:,5)-((floor(100*rnum(:,5)))/100);
rnum(:,5)=rnum(:,5)-((floor(1000*rnum(:,5)))/1000);
rnum(:,5)=rnum(:,5)-((floor(10000*rnum(:,5)))/10000);
rnum(:,5)=X(:,3)-rnum(:,5);

rnum(:,6)=X(:,4)-floor(X(:,4));
rnum(:,6)=rnum(:,6)-((floor(10*rnum(:,6)))/10);
rnum(:,6)=rnum(:,6)-((floor(100*rnum(:,6)))/100);
rnum(:,6)=rnum(:,6)-((floor(1000*rnum(:,6)))/1000);
rnum(:,6)=rnum(:,6)-((floor(10000*rnum(:,6)))/10000);
rnum(:,6)=X(:,4)-rnum(:,6);

if (regul == 1 & valor == 1);
    h=h';
end
rnum(:,7)=h(:,1)-floor(h(:,1));
rnum(:,7)=rnum(:,7)-((floor(10*rnum(:,7)))/10);
rnum(:,7)=rnum(:,7)-((floor(100*rnum(:,7)))/100);
rnum(:,7)=rnum(:,7)-((floor(1000*rnum(:,7)))/1000);

```

```

rnum(:,7)=rnum(:,7)-((floor(10000*rnum(:,7)))/10000);
rnum(:,7)=rnum(:,7)-((floor(100000*rnum(:,7)))/100000);
rnum(:,7)=h(:,1)-rnum(:,7);
rstr1=num2str(rnum(:,2));
for i=1:num(1,1);
    tamano=size(rstr1(i,:));
    co=0;
    col=0;
    switch rstr1(i,:);
    case ' 0';
        rstr1(i,:)='0.0000';
    case '- 0';
        rstr1(i,:)='0.0000';
    end
    for j=1:tamano(1,2);
        if rstr1(i,j)==' '
            co=co+1;
            col=col+1;
        else
            if co>0
                for al=1:tamano(1,2)-co;
                    rstr1(i,al)=rstr1(i,col+1);
                    co=co+1;
                end
                for a2=(tamano(1,2)-col+1):tamano(1,2);
                    rstr1(i,a2)='0';
                end
            end
        end
    end
    al=rnum(i,2)-floor(rnum(i,2));
    if al==0;
        if rnum(i,2)>0;
            rstr1(i,tamano(1,2)-col+1)='.';
        end
    end
end
rstr2=num2str(rnum(:,3));
for i=1:num(1,1);
    tamano=size(rstr2(i,:));
    co=0;
    col=0;
    switch rstr2(i,:);
    case ' 0';
        rstr2(i,:)='0.00000';
    case '- 0';
        rstr2(i,:)='0.00000';
    end
    for j=1:tamano(1,2);
        if rstr2(i,j)==' '
            co=co+1;
            col=col+1;
        else
            if co>0;
                for al=1:tamano(1,2)-co;
                    rstr2(i,al)=rstr2(i,col+1);
                    co=co+1;
                end
                for a2=(tamano(1,2)-col+1):tamano(1,2);
                    rstr2(i,a2)='0';
                end
            end
        end
    end
end

```

```

        end
    end
end
end
end
a1=rnum(i,3)-floor(rnum(i,3));
if a1==0;
    if rnum(i,3)>0;
        rstr2(i,tamano(1,2)-col+1)='.';
    end
end
end
end
rstr3=num2str(rnum(:,4));
for i=1:num(1,1);
    tamano=size(rstr3(i,:));
    co=0;
    col=0;
    switch rstr3(i,:)
    case ' 0'
        rstr3(i,:)='0.0000';
    case ' 0'
        rstr3(i,:)='0.00000';
    case '- 0'
        rstr3(i,:)='0.0000';
    end
    for j=1:tamano(1,2);
        if rstr3(i,j)==' ';
            co=co+1;
            col=col+1;
        else
            if co>0;
                for a1=1:tamano(1,2)-co;
                    rstr3(i,a1)=rstr3(i,co+1);
                end
                co=co+1;
            end
            for a2=(tamano(1,2)-col+1):tamano(1,2);
                rstr3(i,a2)='0';
            end
        end
    end
end
end
a1=rnum(i,4)-floor(rnum(i,4));
if a1==0;
    if rnum(i,4)>0;
        rstr3(i,tamano(1,2)-col+1)='.';
    end
end
end
end
rstr4=num2str(rnum(:,5));
for i=1:num(1,1);
    tamano=size(rstr4(i,:));
    co=0;
    col=0;
    switch rstr4(i,:)
    case ' 0'
        rstr4(i,:)='0.00000';
    case '- 0'
        rstr4(i,:)='0.00000';
    end
    for j=1:tamano(1,2)
        if rstr4(i,j)==' ';

```

```

        co=co+1;
        col=col+1;
    else
        if co>0;
            for a1=1:tamano(1,2)-co;;
                rstr4(i,a1)=rstr4(i,co+1);
                co=co+1;
            end
            for a2=(tamano(1,2)-col+1):tamano(1,2)
                rstr4(i,a2)='0';
            end
        end
    end
end
    al=rnum(i,5)-floor(rnum(i,5));
if al==0;
    if rnum(i,5)>0;
        rstr4(i,tamano(1,2)-col+1)='.';
    end
end
end
rstr5=num2str(rnum(:,6));
for i=1:num(1,1);
    tamano=size(rstr5(i,:));
    co=0;
    col=0;
    switch rstr5(i,:)
        case ' 0'
            rstr5(i,:)= '0.00000';
        case '- 0'
            rstr5(i,:)= '0.00000';
        end
        for j=1:tamano(1,2)
if rstr5(i,j)==' '
            co=co+1;
            col=col+1;
        else
            if co>0;
                for a1=1:tamano(1,2)-co;
                    rstr5(i,a1)=rstr5(i,co+1);
                    co=co+1;
                end
                for a2=(tamano(1,2)-col+1):tamano(1,2);
                    rstr5(i,a2)='0';
                end
            end
        end
    end
end
    al=rnum(i,6)-floor(rnum(i,6));
if al==0;
    if rnum(i,6)>0;
        rstr5(i,tamano(1,2)-col+1)='.';
    end
end
end
end
rstr6=num2str(rnum(:,7));
for i=1:num(1,1);
    switch rstr6(i,:)
        case ' 0'
            rstr6(i,:)= '0.00000';
    end
end

```

```

        case '-      0'
            rstr6(i,:)= '0.00000';
        end
    end
end
for i=1:num(l,1);
    espacio(i,:)= '      ';
end
rstr0=num2str(rnum(:,1));
rstr=[rstr0 espacio rstr1 espacio rstr2 espacio rstr3 espacio rstr4
espacio espacio rstr5 espacio espacio rstr6];
save resgr;
resultgraf

```

function fig = resultgraf()

```

% This is the machine-generated representation of a Handle Graphics
object
% and its children. Note that handle values may change when these
objects
% are re-created. This may cause problems with any callbacks written to
% depend on the value of the handle at the time the object was saved.
% This problem is solved by saving the output as a FIG-file.
%
% To reopen this object, just type the name of the M-file at the MATLAB
% prompt. The M-file and its associated MAT-file must be on your path.
%
% NOTE: certain newer features in MATLAB may not have been saved in this
% M-file due to limitations of this format, which has been superseded by
% FIG-files. Figures which have been annotated using the plot editor
tools
% are incompatible with the M-file/MAT-file format, and should be saved
as
% FIG-files.

```

```

load resultgraf
load resgr;
h0 = figure('Color',[0.137254901960784 0.349019607843137
0.52156862745098], ...
    'Colormap','mat0, ...
    'FileName','C:\Mis documentos\Jorge\TESIS\Prog\untitled.m', ...
    'MenuBar','none', ...
    'Name','Resultados Numéricos', ...
    'NumberTitle','off', ...
    'PaperPosition',[18 180 576 432], ...
    'PaperUnits','points', ...
    'Position',[116 54 592 488], ...
    'Resize','off', ...
    'Tag','Fig1', ...
    'ToolBar','none');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.768627450980392 0.768627450980392
0.768627450980392], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[21 303 407.25 21], ...
    'Tag','Pushbutton2');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...

```

```

        'BackgroundColor', [0.137254901960784 0.349019607843137
0.52156862745098], ...
        'FontName', 'courier new', ...
        'FontSize', 16, ...
        'FontWeight', 'bold', ...
        'ForegroundColor', [0.768627450980392 0.768627450980392
0.768627450980392], ...
        'ListboxTop', 0, ...
        'Position', [101.25 336.75 253.5 13.5], ...
        'String', 'Presentación de Resultados Numéricos', ...
        'Style', 'text', ...
        'Tag', 'StaticText1');
h1 = uicontrol('Parent', h0, ...
        'Units', 'points', ...
        'BackgroundColor', [0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
        'Callback', 'close', ...
        'FontName', 'Ms', ...
        'FontSize', 12, ...
        'ListboxTop', 0, ...
        'Position', [183.75 7.5 80.25 21.75], ...
        'String', 'Aceptar', ...
        'Tag', 'Pushbutton1');
h1 = uicontrol('Parent', h0, ...
        'Units', 'points', ...
        'BackgroundColor', [0.768627450980392 0.768627450980392
0.768627450980392], ...
        'FontAngle', 'italic', ...
        'FontName', 'Vardana', ...
        'FontSize', 12, ...
        'FontWeight', 'bold', ...
        'ListboxTop', 0, ...
        'Position', [57.75 292.5 92.25 11.25], ...
        'String', 'Péndulo Invertido', ...
        'Style', 'text', ...
        'Tag', 'StaticText1', ...
        'Visible', 'off');
ht = uicontrol('Parent', h0, ...
        'Units', 'points', ...
        'BackgroundColor', [1 1 1], ...
        'FontSize', 12, ...
        'HorizontalAlignment', 'right', ...
        'Position', [21 36.75 407.25 266.25], ...
        'Style', 'listbox', ...
        'Tag', 'T', ...
        'UserData', '[ ]', ...
        'Value', 1);
h1 = uicontrol('Parent', h0, ...
        'Units', 'points', ...
        'BackgroundColor', [0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
        'ListboxTop', 0, ...
        'Position', [349.5 307.875 39 12], ...
        'String', 'Energía', ...
        'Style', 'text', ...
        'Tag', 'StaticText2');
h1 = uicontrol('Parent', h0, ...
        'Units', 'points', ...
        'BackgroundColor', [0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...

```

```

        'ListboxTop',0, ...
        'Position',[49.5 310.125 33.75 9.75], ...
        'String','Tiempo', ...
        'Style','text', ...
        'Tag','StaticText2');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[201 306.375 51 13.5], ...
    'String','Pos. del Carro', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','StaticText2');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[276 308.625 49.5 11.25], ...
    'String','Vel. del Carro', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','StaticText2');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[101.25 307.125 39 12.75], ...
    'String','Angulo', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','StaticText2');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[147 309.375 47.25 10.5], ...
    'String','Vel. Angular', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','StaticText2');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[23.25 310.125 13.5 9.75], ...
    'String','#', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','StaticText2');set(ht,'string',num2str(rstr));
if nargout > 0, fig = h0; end

```

```

function salir()

```

```

close
close

```

```
function fig = selayuda()
```

```
% This is the machine-generated representation of a Handle Graphics
object
% and its children. Note that handle values may change when these
objects
% are re-created. This may cause problems with any callbacks written to
% depend on the value of the handle at the time the object was saved.
% This problem is solved by saving the output as a FIG-file.
%
% To reopen this object, just type the name of the M-file at the MATLAB
% prompt. The M-file and its associated MAT-file must be on your path.
%
% NOTE: certain newer features in MATLAB may not have been saved in this
% M-file due to limitations of this format, which has been superseded by
% FIG-files. Figures which have been annotated using the plot editor
tools
% are incompatible with the M-file/MAT-file format, and should be saved
as
% FIG-files.
```

```
load selayuda
```

```
h0 = figure('BackingStore','off', ...
    'Color',[0.137254901960784 0.349019607843137 0.52156862745098], ...
    'Colormap',mat0, ...
    'resize','off',...
    'FileName','C:\Mis documentos\Jorge\TESIS\PROGRAMA\selayuda.m', ...
    'MenuBar','none', ...
    'Name','TEMAS DE AYUDA', ...
    'NumberTitle','off', ...
    'PaperPosition',[18 280 200 200], ...
    'PaperUnits','points', ...
    'Position',[262 165 288 239], ...
    'Tag','Fig5', ...
    'ToolBar','none', ...
    'DefaulttextColor',[1 1 1], ...
    'DefaultaxesXColor',[1 1 1], ...
    'DefaultaxesYColor',[1 1 1], ...
    'DefaultaxesZColor',[1 1 1], ...
    'DefaultpatchFaceColor',[1 1 1], ...
    'DefaultpatchEdgeColor',[0 0 0], ...
    'DefaultsurfaceEdgeColor',[0 0 0], ...
    'DefaultlineColor',[1 1 1], ...
    'DefaultaxesColor',[0 0.2 0.2]);
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'Callback','close', ...
    'FontSize',10, ...
    'FontWeight','bold', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[81.75 12 58.5 18.75], ...
    'String','Salir', ...
    'Tag','Pushbutton1');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.137254901960784 0.349019607843137
0.52156862745098], ...
```

```

        'FontName', 'courier new', ...
        'FontSize', 14, ...
        'FontWeight', 'bold', ...
        'ForegroundColor', [0.768627450980392 0.768627450980392
0.768627450980392], ...
        'ListboxTop', 0, ...
        'Position', [40.875 154.5 140.25 14.25], ...
        'String', 'Escoja una opción', ...
        'Style', 'text', ...
        'Tag', 'StaticText1');
h1 = uicontrol('Parent', h0, ...
        'Units', 'points', ...
        'BackgroundColor', [0.137254901960784 0.349019607843137
0.52156862745098], ...
        'Callback', 'ayudaindatos', ...
        'FontAngle', 'italic', ...
        'FontSize', 12, ...
        'FontWeight', 'demi', ...
        'HorizontalAlignment', 'left', ...
        'ListboxTop', 0, ...
        'Position', [22.875 96.75 176.25 19.5], ...
        'String', 'Ingreso de datos', ...
        'Tag', 'StaticText2');
h1 = uicontrol('Parent', h0, ...
        'Units', 'points', ...
        'BackgroundColor', [0.137254901960784 0.349019607843137
0.52156862745098], ...
        'Callback', 'ayudasimu', ...
        'FontAngle', 'italic', ...
        'FontSize', 12, ...
        'FontWeight', 'demi', ...
        'HorizontalAlignment', 'left', ...
        'ListboxTop', 0, ...
        'Position', [22.875 69.75 176.25 19.5], ...
        'String', 'Simulación', ...
        'Tag', 'StaticText2');
h1 = uicontrol('Parent', h0, ...
        'Units', 'points', ...
        'BackgroundColor', [0.137254901960784 0.349019607843137
0.52156862745098], ...
        'Callback', 'ayudagraficos', ...
        'FontAngle', 'italic', ...
        'FontSize', 12, ...
        'FontWeight', 'demi', ...
        'HorizontalAlignment', 'left', ...
        'ListboxTop', 0, ...
        'Position', [22.875 42.75 176.25 19.5], ...
        'String', 'Resultados', ...
        'Tag', 'StaticText2');
h1 = uicontrol('Parent', h0, ...
        'Units', 'points', ...
        'BackgroundColor', [0.137254901960784 0.349019607843137
0.52156862745098], ...
        'Callback', 'ayudapres', ...
        'Clipping', 'off', ...
        'FontAngle', 'italic', ...
        'FontSize', 12, ...
        'FontWeight', 'demi', ...
        'HorizontalAlignment', 'left', ...
        'ListboxTop', 0, ...

```

```

        'Position',[22.875 124.5 176.25 19.5], ...
        'String','Presentación', ...
        'Tag','StaticText2');
if nargin > 0, fig = h0; end

```

```

function fig = simula()

```

```

% This is the machine-generated representation of a Handle Graphics
object
% and its children. Note that handle values may change when these
objects
% are re-created. This may cause problems with any callbacks written to
% depend on the value of the handle at the time the object was saved.
% This problem is solved by saving the output as a FIG-file.
%
% To reopen this object, just type the name of the M-file at the MATLAB
% prompt. The M-file and its associated MAT-file must be on your path.
%
% NOTE: certain newer features in MATLAB may not have been saved in this
% M-file due to limitations of this format, which has been superseded by
% FIG-files. Figures which have been annotated using the plot editor
tools
% are incompatible with the M-file/MAT-file format, and should be saved
as
% FIG-files.

```

```

close all
load simula

```

```

h0 = figure('Color',[0.007843137254901961 0.27843137254902
0.317647058823529], ...
'Colormap',mat0, ...
'menubar','none',...
'resize','off',...
'FileName','C:\MATLABR11\work\tesis_pruebas\simula.m', ...
'Name','SIMULACION DEL PENDULO INVERTIDO', ...
'NumberTitle','off', ...
'PaperPosition',[186 141.75 420 328.5], ...
'PaperUnits','points', ...
'Position',[60 38 675 503], ...
'Tag','Fig2', ...
'ToolBar','none', ...
'DefaulttextColor',[0.0117647058823529 0.411764705882353
0.470588235294118], ...
'DefaultaxesXColor',[0 0 0], ...
'DefaultaxesYColor',[0 0 0], ...
'DefaultaxesZColor',[1 1 0.5], ...
'DefaultpatchFaceColor',[1 1 1], ...
'DefaultpatchEdgeColor',[0 0 0], ...
'DefaultsurfaceEdgeColor',[0 0 0], ...
'DefaultlineColor',[1 1 1], ...
'DefaultaxesColor',[0.0117647058823529 0.411764705882353
0.470588235294118]);
h1 = uimenu('Parent',h0, ...
'Label','&Opciones', ...
'Tag','uimenu1');
hmrepet = uimenu('Parent',h1, ...
'Accelerator','R', ...
'Callback','repetir', ...

```

```

        'Label', '&Repetir', ...
        'Tag', 'Opcionesuimenu3');
hmsim = uimenu('Parent',h1, ...
    'Accelerator', 'S', ...
    'Callback', 'cambio', ...
    'Label', '&Simular', ...
    'Tag', 'Opcionesuimenu1');
hmatras = uimenu('Parent',h1, ...
    'Accelerator', 'A', ...
    'Callback', 'pendulo', ...
    'Label', '&Atras', ...
    'Tag', 'Opcionesuimenu2');
h2 = uimenu('Parent',h1, ...
    'Accelerator', 'Q', ...
    'Callback', 'close all', ...
    'Label', '&Salir', ...
    'Tag', 'sale');
h1 = uimenu('Parent',h0, ...
    'Label', '&Resultados', ...
    'Tag', 'uimenu1');
h2 = uimenu('Parent',h1, ...
    'Accelerator', 'R', ...
    'Label', '&Gráficos de los Estados', ...
    'Tag', 'Opcionesuimenu3');
h3 = uimenu('Parent',h2, ...
    'Callback', 'graficacion(1)', ...
    'Label', 'Ang. vs. t', ...
    'Tag', 'Opcionesuimenu3');
h3 = uimenu('Parent',h2, ...
    'Callback', 'graficacion(2)', ...
    'Label', 'W vs. t', ...
    'Tag', 'Opcionesuimenu3');
h3 = uimenu('Parent',h2, ...
    'Callback', 'graficacion(3)', ...
    'Label', 'Xc vs. t', ...
    'Tag', 'Opcionesuimenu3');
h3 = uimenu('Parent',h2, ...
    'Callback', 'graficacion(4)', ...
    'Label', 'Vc vs. t', ...
    'Tag', 'Opcionesuimenu3');
h3 = uimenu('Parent',h2, ...
    'Callback', 'graficacion(5)', ...
    'Label', 'Eng. vs. t', ...
    'Tag', 'Opcionesuimenu3');
h2 = uimenu('Parent',h1, ...
    'Label', 'Señales de &Control', ...
    'Tag', 'Opcionesuimenu3');
h8 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units', 'points', ...
    'BackgroundColor', [0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'ForegroundColor', [0.349019607843137 0 0], ...
    'ListboxTop', 0, ...
    'Position', [433.5 41.5 68 306], ...
    'Style', 'frame'; ...
    'Tag', 'Frame1');

load datos2;
load resultados alcance,Xo;

```

```

if hibri==1 & alcance ==1 & (abs(Xo(1)) >= 0.5585036 & abs(Xo(1))
<=(2*pi- 0.5585036));
h3 =uimenu('Parent',h2, ...
    'Callback','graficacion(10)', ...
    'Label','Control de Energía', ...
    'Tag','Opcionesuimenu3');
h3 =uimenu('Parent',h2, ...
    'Callback','graficacion(11)', ...
    'Label','Regulador de Posición', ...
    'Tag','Opcionesuimenu3');
h8 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','normalized', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'Callback','graficacion(10)', ...
    'FontSize',10, ...
    'FontWeight','bold', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[0.87 0.22 0.11 0.06], ...
    'String','Energía', ...
    'Tag','Pushbutton2', ...
    'TooltipString','Gráfica de la señal para el control de energía');
h8 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','normalized', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'Callback','graficacion(11)', ...
    'FontSize',10, ...
    'FontWeight','bold', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[0.87 0.15 0.11 0.06], ...
    'String','Posición', ...
    'Tag','Pushbutton2', ...
    'TooltipString','Gráfica de la señal para el regulador de
posición');

elseif hibri==1 & alcance ==0;
h3 =uimenu('Parent',h2, ...
    'Callback','graficacion(10)', ...
    'Label','Control de Energía', ...
    'Tag','Opcionesuimenu3');
h8 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','normalized', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'Callback','graficacion(10)', ...
    'FontSize',10, ...
    'FontWeight','bold', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[0.87 0.22 0.11 0.06], ...
    'String','Energía', ...
    'Tag','Pushbutton2', ...
    'TooltipString','Gráfica de la señal para el control de energía');

elseif hibri==1 & alcance ==1 & (Xo(1) < 0.5585036 |(Xo(1)) > (2*pi-
0.5585036));
h3 =uimenu('Parent',h2, ...
    'Callback','graficacion(11)', ...
    'Label','Regulador de Posición', ...
    'Tag','Opcionesuimenu3');

```

```

h8 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','normalized', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'Callback','graficacion(11)', ...
    'FontSize',10, ...
    'FontWeight','bold', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[0.87 0.22 0.11 0.06], ...
    'String','Posición', ...
    'Tag','Pushbutton2', ...
    'TooltipString','Gráfica de la señal para el regulador de
posición');

elseif eng ==1;
h3 =uimenu('Parent',h2, ...
    'Callback','graficacion(10)', ...
    'Label','Control de Energía', ...
    'Tag','Opcionesuimenu3');
h8 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','normalized', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'Callback','graficacion(10)', ...
    'FontSize',10, ...
    'FontWeight','bold', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[0.87 0.22 0.11 0.06], ...
    'String','Energía', ...
    'Tag','Pushbutton2', ...
    'TooltipString','Gráfica de la señal para el control de energía');

elseif regul == 1;
h3 =uimenu('Parent',h2, ...
    'Callback','graficacion(11)', ...
    'Label','Regulador de Posición', ...
    'Tag','Opcionesuimenu3');
h8 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','normalized', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'Callback','graficacion(11)', ...
    'FontSize',10, ...
    'FontWeight','bold', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[0.87 0.22 0.11 0.06], ...
    'String','Posición', ...
    'Tag','Pushbutton2', ...
    'TooltipString','Gráfica de la señal para el regulador de
posición');

end

h2 = uimenu('Parent',h1, ...
    'Label','&Trayectorias de Fase', ...
    'Tag','Opcionesuimenu3');
h3 = uimenu('Parent',h2, ...
    'Callback','graficacion(7)', ...
    'Label','Ang. vs. W', ...
    'Tag','Opcionesuimenu3');

```

```

h3 = uimenu('Parent',h2, ...
    'Callback','graficacion(6)', ...
    'Label','Ang. vs. Xc', ...
    'Tag','Opcionesuimenu3');
h3 = uimenu('Parent',h2, ...
    'Callback','graficacion(9)', ...
    'Label','W vs. Xc', ...
    'Tag','Opcionesuimenu3');
h3 = uimenu('Parent',h2, ...
    'Callback','graficacion(8)', ...
    'Label','W vs. Vc', ...
    'Tag','Opcionesuimenu3');
h2 = uimenu('Parent',h1, ...
    'Callback','escojer1', ...
    'Label','&Varios Gráficos', ...
    'Tag','Opcionesuimenu3');

h2 = uimenu('Parent',h1, ...
    'Callback','result', ...
    'Label','Resultados &Numéricos', ...
    'Tag','Opcionesuimenu1');
h1 = uimenu('Parent',h0, ...
    'Label','&Ayuda', ...
    'Tag','Ayuda');
h2 = uimenu('Parent',h1, ...
    'Callback','selayuda', ...
    'Label','&Temas de Ayuda', ...
    'Tag','temas');
h2 = uimenu('Parent',h1, ...
    'Callback','acerca', ...
    'Label','&Acerca de.....', ...
    'Tag','temas');

hpatras = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','normalized', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'Callback','pendulo', ...
    'FontSize',12, ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[0.9057142857142857 0.012 0.08142857142857143 0.054],
    ...
    'String','Atras', ...
    'Tag','Pushbutton6');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','normalized', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'FontSize',10, ...
    'FontWeight','bold', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[0.85742857142857143 0.868 0.1285714285714286 0.042],
    ...
    'String','GRAFICAS', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','GRAFICOS');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','normalized', ...

```

```

    'BackgroundColor', [0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'FontSize', 8, ...
    'FontWeight', 'bold', ...
    'FontName', 'Garamond', ...
    'fontsize', 9, ...
    'ListboxTop', 0, ...
    'Position', [0.85742857142857143 0.28 0.1285714285714286 0.042], ...
    'String', 'CONTROLES', ...
    'Style', 'text', ...
    'Tag', 'CONTROLES');
h1 = uicontrol('Parent', h0, ...
    'Units', 'normalized', ...
    'BackgroundColor', [0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'Callback', 'graficacion(1)', ...
    'FontSize', 2, ...
    'FontWeight', 'demi', ...
    'ForegroundColor', [0.349019607843137 0 0], ...
    'ListboxTop', 0, ...
    'Position', [0.8785714285714286 0.8220000000000001 0.1 0.04], ...
    'String', 'Ang vs t', ...
    'TooltipString', 'Curva: Angulo vs. Tiempo', ...
    'Tag', 'Pushbutton5');
h1 = uicontrol('Parent', h0, ...
    'Units', 'normalized', ...
    'BackgroundColor', [0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'Callback', 'graficacion(3)', ...
    'FontSize', 2, ...
    'FontWeight', 'demi', ...
    'ForegroundColor', [0.349019607843137 0 0], ...
    'ListboxTop', 0, ...
    'Position', [0.8785714285714286 0.772 0.1 0.038], ...
    'String', 'Xc vs t', ...
    'TooltipString', 'Curva: Posición del Carro vs. Tiempo', ...
    'Tag', 'Pushbutton3');
h1 = uicontrol('Parent', h0, ...
    'Units', 'normalized', ...
    'BackgroundColor', [0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'Callback', 'graficacion(2)', ...
    'FontSize', 2, ...
    'FontWeight', 'demi', ...
    'ForegroundColor', [0.349019607843137 0 0], ...
    'ListboxTop', 0, ...
    'Position', [0.8785714285714286 0.718 0.1 0.04], ...
    'String', 'W vs t', ...
    'TooltipString', 'Curva: Velocidad Angular vs. Tiempo', ...
    'Tag', 'Pushbutton4');
h1 = uicontrol('Parent', h0, ...
    'Units', 'normalized', ...
    'BackgroundColor', [0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'Callback', 'graficacion(5)', ...
    'FontSize', 2, ...
    'FontWeight', 'demi', ...
    'ForegroundColor', [0.349019607843137 0 0], ...
    'ListboxTop', 0, ...
    'Position', [0.8785714285714286 0.612 0.1 0.04], ...

```

```

'String','Eng vs t', ...
'TooltipString','Curva: Energía vs. Tiempo',...
'Tag','Pushbutton1');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','normalized', ...
'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
'Callback','graficacion(4)', ...
'FontSize',2, ...
'FontWeight','demi', ...
'ForegroundColor',[0.349019607843137 0 0], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[0.8785714285714286 0.664 0.1 0.04], ...
'String','Vc vs t', ...
'TooltipString','Curva: Velocidad del Carro vs. Tiempo',...
'Tag','Pushbutton2');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','normalized', ...
'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
'Callback','graficacion(6)', ...
'FontSize',2, ...
'FontWeight','demi', ...
'ForegroundColor',[0.349019607843137 0 0], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[0.8785714285714286 0.5560000000000001 0.1 0.042], ...
'String','Ang vs Xc', ...
'TooltipString','Trayectoria de Fase',...
'Tag','Pushbutton5');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','normalized', ...
'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
'Callback','graficacion(7)', ...
'FontSize',2, ...
'FontWeight','demi', ...
'ForegroundColor',[0.349019607843137 0 0], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[0.8785714285714286 0.502 0.1 0.04], ...
'String','Ang vs W', ...
'TooltipString','Trayectoria de Fase',...
'Tag','Pushbutton 5');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','normalized', ...
'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
'Callback','graficacion(9)', ...
'FontSize',2, ...
'FontWeight','demi', ...
'ForegroundColor',[0.349019607843137 0 0], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[0.8785714285714286 0.45 0.1 0.04], ...
'String','W vs Xc', ...
'TooltipString','Trayectoria de Fase',...
'Tag','Pushbutton5');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','normalized', ...
'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
'Callback','graficacion(8)', ...

```

```

'FontSize',2, ...
'FontWeight','demi', ...
'ForegroundColor',[0.349019607843137 0 0], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[0.8785714285714286 0.396 0.1 0.04], ...
'String','W vs Vc', ...
'TooltipString','Trayectoria de Fase',...
'Tag','Pushbutton5');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','normalized', ...
'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
'Callback','escojer1', ...
'FontSize',2, ...
'FontWeight','demi', ...
'ForegroundColor',[0.349019607843137 0 0], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[0.8785714285714286 0.346 0.1 0.04], ...
'String','Varios...', ...
'TooltipString','Permite obtener varios gráficos',...
'Tag','Pushbutton5');
hprepet = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','normalized', ...
'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
'Callback','repetir', ...
'FontSize',12, ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[0.8100000000000001 0.012 0.08142857142857143 0.054],
...
'String','Repetir', ...
'TooltipString','Repite la simulación anterior',...
'Tag','Pushbutton2');
h1 = axes('Parent',h0, ...
'AmbientLightColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
'Box','on', ...
'CameraPosition',[0 0 17.3205080756888], ...
'CameraPositionMode','manual', ...
'CameraTargetMode','manual', ...
'CameraUpVector',[0 1 0], ...
'CameraUpVectorMode','manual', ...
'Color',[0.203921568627451 0.356862745098039 0.545098039215686],
...
'ColorOrder',mat1, ...
'NextPlot','add', ...
'Position',mat2, ...
'Tag','Axes1', ...
'XColor',[0.7215686274509801 0.984313725490196 0.525490196078431],
...
'XLim',[-1 1], ...
'XLimMode','manual', ...
'YColor',[0.7215686274509801 0.984313725490196 0.525490196078431],
...
'YLim',[-1 1], ...
'YLimMode','manual', ...
'ZColor',[1 1 0.5]);
h2 = text('Parent',h1, ...
'Color',[0.7215686274509801 0.984313725490196 0.525490196078431],
...

```

```

        'HandleVisibility','off', ...
        'HorizontalAlignment','center', ...
        'Position',mat3, ...
        'String','ANIMACION DEL PENDULO INVERTIDO', ...
        'Tag','Axes1Text4', ...
        'VerticalAlignment','bottom');
set(get(h2,'Parent'),'Title',h2);
h2 = text('Parent',h1, ...
        'Color',[0.7215686274509801 0.984313725490196 0.525490196078431],
...
        'HandleVisibility','off', ...
        'HorizontalAlignment','center', ...
        'Position',[-0.003690036900368954 -1.118226600985222
17.3205080756888], ...
        'Tag','Axes1Text3', ...
        'VerticalAlignment','cap');
set(get(h2,'Parent'),'XLabel',h2);
h2 = text('Parent',h1, ...
        'Color',[0.7215686274509801 0.984313725490196 0.525490196078431],
...
        'HandleVisibility','off', ...
        'HorizontalAlignment','center', ...
        'Position',[-1.121771217712177 -0.004926108374384342
17.3205080756888], ...
        'Rotation',90, ...
        'Tag','Axes1Text2', ...
        'VerticalAlignment','baseline');
set(get(h2,'Parent'),'YLabel',h2);
h2 = text('Parent',h1, ...
        'Color',[1 1 0.5], ...
        'HandleVisibility','off', ...
        'HorizontalAlignment','right', ...
        'Position',[-1.195571955719557 1.177339901477832 17.3205080756888],
...
        'Tag','Axes1Text1', ...
        'Visible','off');
set(get(h2,'Parent'),'ZLabel',h2);
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
        'Units','normalized', ...
        'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
        'ListboxTop',0, ...
        'Position',[0.09428571428571431 0.124 0.135714285714286 0.052], ...
        'Style','frame', ...
        'Tag','Framell');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
        'Units','normalized', ...
        'BackgroundColor',[0.203921568627451 0.356862745098039
0.545098039215686], ...
        'FontAngle','italic', ...
        'FontName','Garamond', ...
        'fontSize',11, ...
        'FontWeight','bold', ...
        'ForegroundColor',[0 0 0], ...
        'ListboxTop',0, ...
        'Position',[0.21 0.19 0.393071428571428571 0.02960], ...
        'String','NUEVAS CONDICIONES INICIALES', ...
        'Style','text', ...
        'Tag','stextXol');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...

```

```

'Units', 'normalized', ...
'BackgroundColor', [0 0.1 0.5], ...
'FontWeight', 'bold', ...
'ForegroundColor', [1 1 0], ...
'ListboxTop', 0, ...
'Position', [0.1514285714285714 0.13 0.07142857142857143 0.04], ...
'String', '180', ...
'Style', 'edit', ...
'Tag', 'textangl1', ...
'TooltipString', 'Posición angular inicial de la barra', ...
'Value', 1);
h1 = uicontrol('Parent', h0, ...
'Units', 'normalized', ...
'BackgroundColor', [0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
'FontName', 'symbol', ...
'FontSize', 14, ...
'FontWeight', 'bold', ...
'ListboxTop', 0, ...
'Position', mat4, ...
'String', 'q :', ...
'Style', 'text', ...
'Tag', 'stexteta1');
hpsim = uicontrol('Parent', h0, ...
'Units', 'normalized', ...
'BackgroundColor', [0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
'Callback', 'cambio', ...
'FontSize', 10, ...
'FontWeight', 'bold', ...
'ListboxTop', 0, ...
'Position', [0.71 0.12 0.1 0.06], ...
'String', 'Simular', ...
'Tag', 'Pushbutton2', ...
'TooltipString', 'Repite la simulación para una nueva condición
inicial');
h1 = uicontrol('Parent', h0, ...
'Units', 'normalized', ...
'BackgroundColor', [0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
'ListboxTop', 0, ...
'Position', [0.2490476190476194 0.124 0.1357142857142857 0.052], ...
'Style', 'frame', ...
'Tag', 'Framell1');
h1 = uicontrol('Parent', h0, ...
'Units', 'normalized', ...
'BackgroundColor', [0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
'ListboxTop', 0, ...
'Position', [0.4038095238095241 0.124 0.1357142857142857 0.052], ...
'Style', 'frame', ...
'Tag', 'Framell1');
h1 = uicontrol('Parent', h0, ...
'Units', 'normalized', ...
'BackgroundColor', [0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
'ListboxTop', 0, ...
'Position', [0.5585714285714289 0.124 0.1357142857142857 0.052], ...
'Style', 'frame', ...
'Tag', 'Framell1');

```

```

h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','normalized', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'FontSize',10, ...
    'FontWeight','bold', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[0.57 0.13 0.04857142857142857 0.04], ...
    'String','Vc :', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','stextVcl');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','normalized', ...
    'BackgroundColor',[0 0.1 0.5], ...
    'FontWeight','bold', ...
    'ForegroundColor',[1 1 0], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[0.6171428571428571 0.13 0.07142857142857143 0.04], ...
    'String','0', ...
    'Style','edit', ...
    'Tag','textVcl', ...
    'TooltipString','Velocidad inicial del carro', ...
    'Value',1);
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','normalized', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'FontSize',11, ...
    'FontWeight','bold', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[0.2657142857142857 0.13 0.04285714285714286 0.042], ...
    'String','w :', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','stextetal');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','normalized', ...
    'BackgroundColor',[0 0.1 0.5], ...
    'FontWeight','bold', ...
    'ForegroundColor',[1 1 0], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[0.4614285714285714 0.13 0.07142857142857143 0.04], ...
    'String','0', ...
    'Style','edit', ...
    'Tag','textpos1', ...
    'TooltipString','Posición inicial del carro', ...
    'Value',1);
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','normalized', ...
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
    'FontSize',10, ...
    'FontWeight','bold', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[0.4114285714285714 0.13 0.04857142857142857 0.042], ...
    'String','Xc :', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','stextXcl');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','normalized', ...
    'BackgroundColor',[0 0.1 0.5], ...

```

```

'FontWeight','bold', ...
'ForegroundColor',[1 1 0], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[0.3057142857142857 0.13 0.07142857142857143 0.04], ...
'String','0', ...
'Style','edit', ...
'Tag','textw1', ...
'TooltipString','Velocidad angular inicial de la barra', ...
'Value',1);
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0 0 0], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[202.5 10.5 79.5 17.25], ...
'Style','frame', ...
'Tag','Frame2');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588
0.752941176470588], ...
'FontSize',4, ...
'FontWeight','demi', ...
'ForegroundColor',[0 0 0.627450980392157], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[205.5 12.5 73.5 12.75], ...
'String','Eje x: METROS', ...
'Style','text', ...
'Tag','StaticText1');
save arc hmrepet hmsim hprepet hpsim hmatras hpatras;
corresim
if nargin > 0, fig = h0; end

```

```
function ubicar();
```

```

load submnu
hold on
punto=ginput(1);
plot(punto(1,1),punto(1,2),'ro-');
set(hs14,'string',num2str(punto(1,1)));
set(hs15,'string',num2str(punto(1,2)));
text(punto(1,1),punto(1,2),[' Punto = [',num2str(punto(1,1)) ' , '
num2str(punto(1,2)) ']' ],...
'color',[0 0 0],...
'VerticalAlignment','top',...
'HorizontalAlignment','right',...
'FontWeight','bold', ...
'FontSize',7)

```

```
function ubicar1();
```

```

hold on
punto=ginput(1);
plot(punto(1,1),punto(1,2),'ro-');
load vari;
set(hse2,'string',num2str(punto(1,1)));
set(hse3,'string',num2str(punto(1,2)));

```

```
function varios1()
```

```
h0 = figure('Color',[0.203921568627451 0.356862745098039  
0.545098039215686], ...  
    'FileName','C:\MATLABR11\work\figural.m', ...  
    'Name','GRAFICACION DE RESULTADOS', ...  
    'NumberTitle','off', ...  
    'PaperPosition',[18 180 579 435], ...  
    'PaperUnits','points', ...  
    'Position',[54 44 700 500], ...  
    'Resize','off', ...  
    'menubar','none',...  
    'Tag','Fig2', ...  
    'ToolBar','none', ...  
    'DefaulttextColor',[1 1 1], ...  
    'DefaultaxesXColor',[0 0 0], ...  
    'DefaultaxesYColor',[0 0 0], ...  
    'DefaultaxesZColor',[0 0 0], ...  
    'DefaultpatchFaceColor',[1 1 1], ...  
    'DefaultpatchEdgeColor',[0 0 0], ...  
    'DefaultsurfaceEdgeColor',[0 0 0], ...  
    'DefaultlineColor',[1 1 1], ...  
    'DefaultaxesColor',[0.666666666666667 0.666666666666667  
0.666666666666667]);  
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...  
    'Units','normalized', ...  
    'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588  
0.752941176470588], ...  
    'Callback','close,close', ...  
    'FontSize',14, ...  
    'ListboxTop',0, ...  
    'Position',[0.8928571428571429 0.005 0.08 0.06], ...  
    'String','<<', ...  
    'Tag','Pushbutton6');  
hline = axes('Parent',h0, ...  
    'fontsize',5, ...  
    'Box','on', ...  
    'CameraUpVector',[0 1 0], ...  
    'Color',[0.666666666666667 0.666666666666667 0.666666666666667], ...  
    'Position',[0.1271428571428571 0.13 0.6757142857142857  
0.8140000000000001], ...  
    'fontsize',8,...  
    'Tag','Axes1', ...  
    'XColor',[1 1 1], ...  
    'XTickMode','manual', ...  
    'YColor',[1 1 1], ...  
    'ZColor',[1 1 0.5]);  
hse1 = uicontrol('Parent',h0, ...  
    'Units','normalized', ...  
    'BackgroundColor',[0.203921568627451 0.356862745098039  
0.545098039215686], ...  
    'FontSize',9, ...  
    'FontWeight','bold', ...  
    'ListboxTop',0, ...  
    'Position',[0.38 0.02 0.053 0.025], ...  
    'String','Punto:', ...  
    'Style','text', ...  
    'Tag','stextlp');  
hse2 = uicontrol('Parent',h0, ...  
    'Units','normalized', ...
```

```

        'BackgroundColor',[0 0.1 0.5], ...
        'FontWeight','bold', ...
        'ForegroundColor',[1 1 0], ...
        'ListboxTop',0, ...
        'Position',[0.44 0.01 0.08 0.045], ...
        'Style','edit', ...
        'Tag','textp', ...
        'Value',1);
hse3 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','normalized', ...
    'BackgroundColor',[0 0.1 0.5], ...
    'FontWeight','bold', ...
    'ForegroundColor',[1 1 0], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[0.52 0.01 0.08 0.045], ...
    'Style','edit', ...
    'Tag','textp', ...
    'Value',1);

load resultados;
load var;
A=zeros(1,8);
i=1;

g1= findobj('tag','avt');
A(1) = get(g1,'value');

g2= findobj('tag','xvt');
A(2) = get(g2,'value');

g3= findobj('tag','wvt');
A(3) = get(g3,'value');

g4= findobj('tag','vvt');
A(4) = get(g4,'value');

g5= findobj('tag','evt');
A(5) = get(g5,'value');

g6= findobj('tag','avx');
A(6) = get(g6,'value');

g7= findobj('tag','avw');
A(7) = get(g7,'value');

g8= findobj('tag','wvv');
A(8) = get(g8,'value');
cm = uicontextmenu;

cb1=['grid on'];
cb2=['grid off'];
cb3=['zoom'];
cb4=['zoom out'];
% Define context menu items
item1 = uimenu(cm, 'Label', 'Ubicar Punto', 'Callback','ubicar1');
item2 = uimenu(cm, 'Label', 'Activar Divisiones', 'Callback',cb1);
item3 = uimenu(cm, 'Label', 'Desactivar Divisiones', 'Callback',cb2);
item4 = uimenu(cm, 'Label', 'Acercar', 'Callback',cb3);
item5 = uimenu(cm, 'Label', 'Alejar', 'Callback',cb4);

```