

Apéndice A

Control Proporcional Integral Derivativo PID

El control más recurrido en la industria es el Control Proporcional Integral Derivativo **PID**, cuya ecuación es

$$u_{PID} = K_p e + \frac{K_p}{T_i} \int e dt + K_p T_d \frac{de}{dt} \quad (\text{A.1})$$

en donde u_{PID} es propiamente la señal de control, e es la señal de error generada entre la referencia y la salida medida, K_p es la ganancia proporcional, T_i el tiempo integral y T_d el tiempo derivativo.

La acción proporcional es un amplificador de ganancia ajustable. La acción derivativa ayuda a mejorar la respuesta transitoria de un sistema, oponiéndose al cambio en la señal de error. Como desventaja tiene que amplifica las señales de ruido y puede provocar un efecto de saturación en el actuador.

Cuando no se cuenta con un integrador, existe un error en estado permanente o desplazamiento (offset) en la respuesta para una entrada escalón. Tal error se elimina por medio de la acción de control integral en el controlador. La combinación de una acción de control proporcional, una acción de control integral y una acción de control derivativa se denomina acción de control proporcional-integral-derivativa (PID). Esta acción combinada tiene las ventajas de cada una de las tres acciones de control individuales [8].

A.1. Sintonización PID

Aunque existen metodologías analíticas para el diseño de los parámetros de un controlador PID, éstos requieren de un modelo matemático exacto de la planta, lo cual a veces es difícil o hasta imposible de conseguir. Por esta razón, también existen métodos experimentales que permiten la sintonización de los parámetros. Las reglas de sintonización propuestas por Ziegler-Nichols, permiten la sintonización de los parámetros mediante dos procedimientos experimentales, uno basado en lazo cerrado y otro basado en lazo abierto.

El método de sintonización basado en lazo cerrado, establece que se debe aplicar solamente la acción proporcional hasta obtener oscilaciones sostenidas en la salida del sistema (ver Figura A.1). La ganancia requerida para lograr tal comportamiento se conoce como ganancia crítica K_{cr} . El periodo correspondiente a la misma respuesta se conoce como periodo crítico P_{cr} . Los términos K_{cr} y P_{cr} se determinan experimentalmente y se aplican directamente conforme a siguiente tabla

Cuadro A.1: Reglas de sintonización de Ziegler-Nichols en lazo cerrado

Tipo de controlador	K_p	T_i	T_d
P	$0.5K_{cr}$	∞	0
PI	$0.45K_{cr}$	$\frac{1}{1.2}P_{cr}$	0
PID	$0.6K_{cr}$	$0.5P_{cr}$	$0.125P_{cr}$

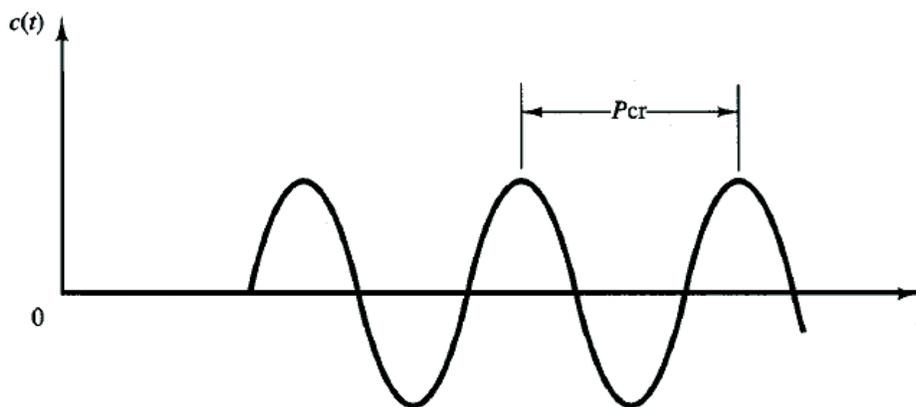


Figura A.1: Oscilaciones sostenidas aplicando el método de lazo cerrado de Ziegler-Nichols

Por otro lado, el método de sintonización basado en lazo abierto, establece que la planta debe ser excitada con un escalón unitario con el fin de obtener una respuesta en forma de S (ver Figura A.2), en donde se miden el tiempo de retardo L y la constante de tiempo T experimentalmente y se evalúan de acuerdo a la siguiente tabla

Cuadro A.2: Reglas de sintonización de Ziegler-Nichols en lazo abierto

Tipo de controlador	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0.9\frac{T}{L}$	$\frac{1}{3}L$	0
PID	$1.2\frac{T}{L}$	$2L$	$0.5L$

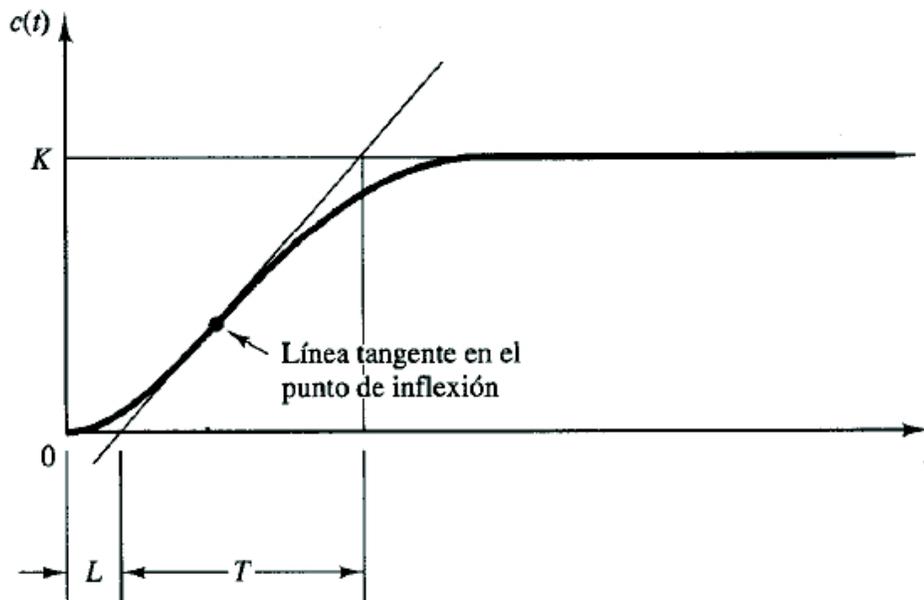


Figura A.2: Curva de respuesta en forma de S aplicando el método de lazo abierto de Ziegler-Nichols

Apéndice B

Entorno Simulink

Simulink de Matlab trabaja con el Real-Time-Workshop (**RTW**), herramienta que permite la realización de experimentos en tiempo real. Los parámetros utilizados durante la fase experimental en el **RTW**, se muestran en la Figura B.1.

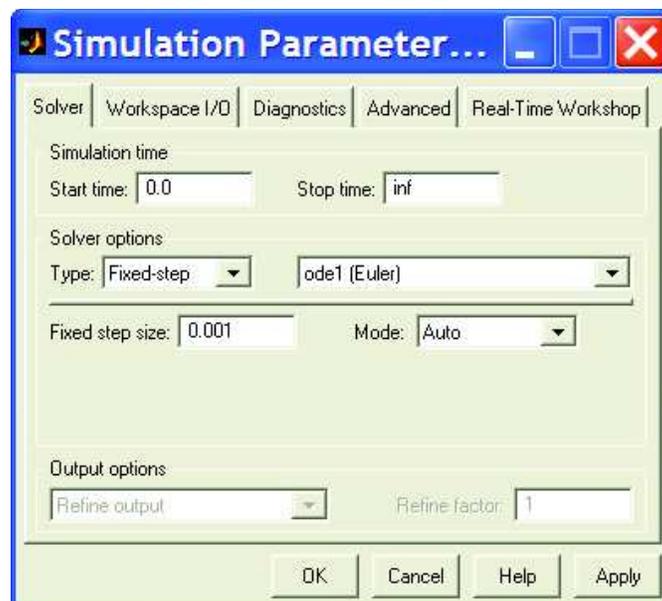


Figura B.1: Parámetros de Configuración del RTW

Por otra parte, antes de iniciar cualquier experimento, es necesario realizar un Reset al sistema. Esto con el fin de garantizar la anulación de cualquier offset durante los experimentos. El bloque de Reset se muestra en la Figura B.2.

El Modelo 210: Rectilinear Plant de Educational Control Products viene provisto de un bloque representativo en Simulink, ver Figura B.3. Este archivo permite programar cualquier estructura de control y obtener una salida basada en la posición de las masas del sistema (en

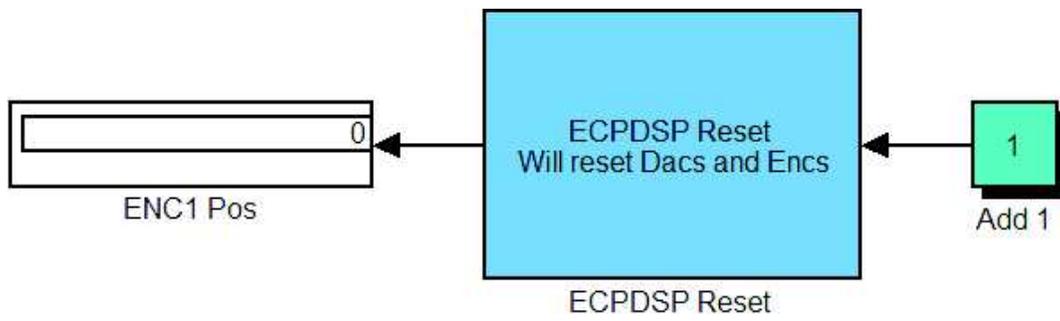


Figura B.2: Bloque de Reset en Simulink

este caso solo importa la posición de la primera masa m_1).

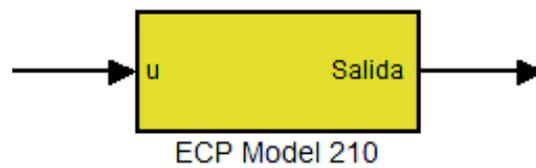


Figura B.3: Diagrama de la planta en Simulink