

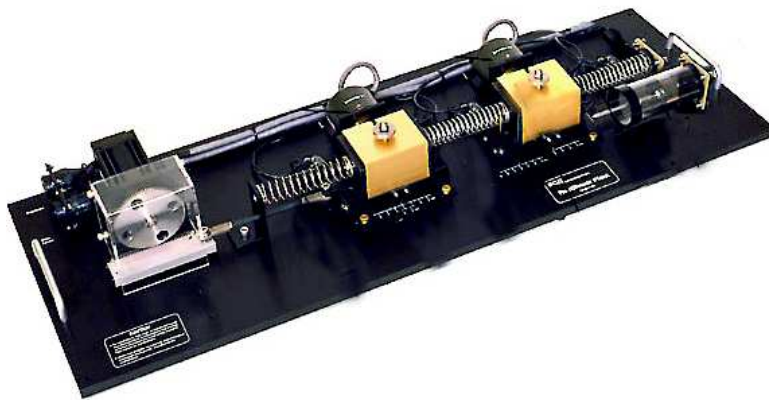
# Capítulo 3

## Planta

En este capítulo se va a mostrar y a describir los componentes de la planta. Para este trabajo, todos los experimentos fueron desarrollados e implementados en un sistema masa amortiguador resorte.

### 3.1. Descripción de la Planta

El Modelo 210: Rectilinear Plant de Educational Control Products (ver Figura 3.1) [5], viene provisto de masas, resortes y amortiguadores de distintos valores, lo que permite armar y probar distintas configuraciones del sistema. Esta versatilidad permite validar la robustez de los algoritmos propuestos ante incertidumbres del sistema, esto debido a que los valores nominales de las constantes son aproximaciones obtenidas de las hojas de datos provistas por el fabricante.



**Figura 3.1:** Sistema masa-amortiguador-resorte Modelo 210 de ECP

Por otra parte, el presente sistema puede ser considerado como un ejemplo de estudio

clásico que aparece en la gran mayoría de la literatura de modelado de sistemas físicos y de sistemas de control. Además el sistema presenta analogías de un pistón y por lo tanto, permite estudiar problemas que se requieren resolver en aplicaciones industriales, como el control de la posición de alguna masa mediante equipo hidráulico [10].

El sistema experimental de control está conformado por tres subsistemas mostrados en la Figura 3.2. El primer subsistema es una planta electromecánica constituida por un mecanismo masa amortiguador resorte, actuador y sensores.

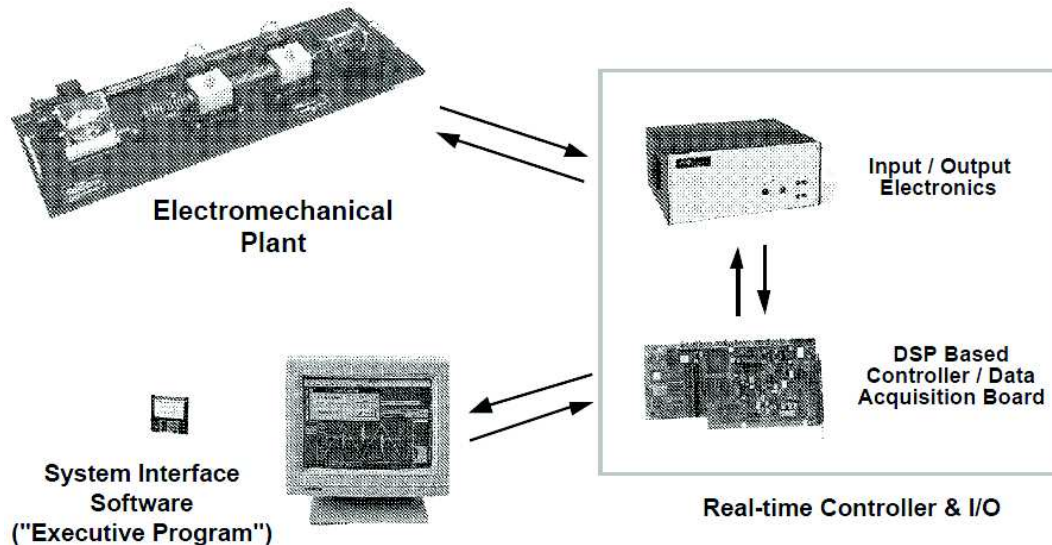


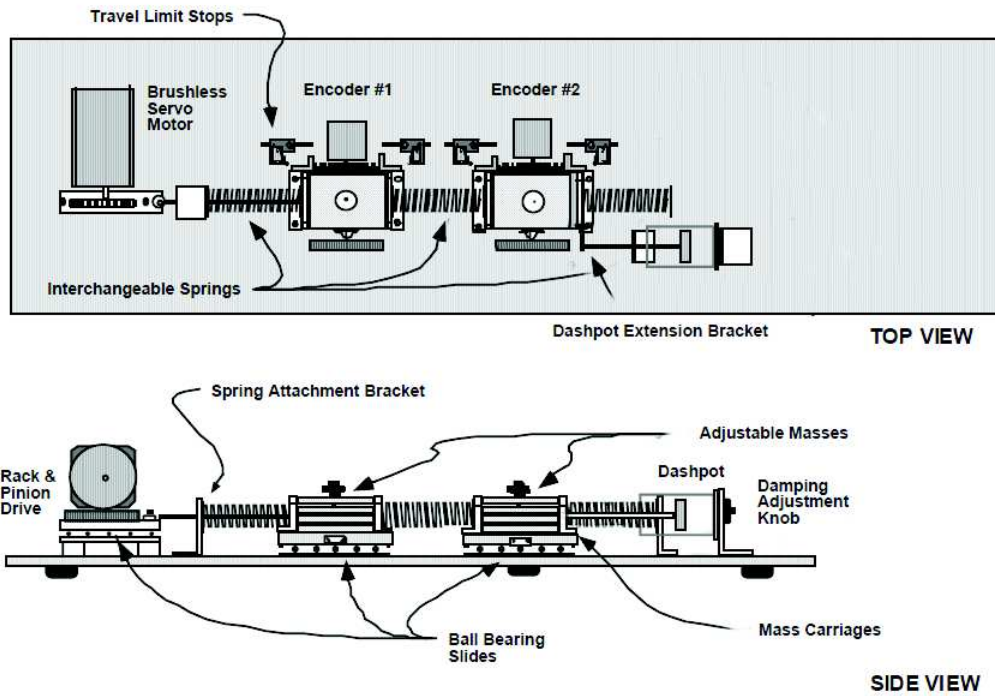
Figura 3.2: Sistema Experimental de Control

El siguiente subsistema está formado por la unidad de controlador en tiempo-real (**DSP**), basada en un controlador en tiempo-real, las interfaces servo/actuador, el servo amplificador y los suministros de energía auxiliar. El DSP es capaz de ejecutar leyes de control a altas frecuencias de muestreo, permitiendo que la aplicación pueda ser modelada en tiempo continuo o discreto.

Finalmente, el tercer subsistema es un programa ejecutable desde una PC. Este programa ejecutable puede ser el proporcionado por el fabricante o bien, mediante la interface Simulink R13 de Mathworks.

El mecanismo mostrado en la Figura 3.3 está diseñado para emular una amplia gama de aplicaciones del mundo real: 1 grado de libertad en cuerpos rígidos, flexibilidad en mecanismos lineales, engranes y correas, y otros sistemas oscilatorios discretos acoplados. El *Modelo 210: Rectilinear Plant de Educational Control Products* (ver Figura 3.3), consiste en dos carros que pueden llevar hasta cuatro masas independientes de 500 [g] cada una. Los carros están interconectados por resortes bi-direccionales. La suspensión de los carros consiste de un sistema de rodamiento anti-fricción, permitiendo un movimiento de  $\pm 3$  [cm]. El mecanismo lineal se compone de un riel dentado suspendido en un carro anti-fricción y un piñón

(diámetro del engrane 7.2 [cm]) acoplado al eje del servo motor. Los encoders ópticos miden la posición de los carros por medio de un sistema similar de riel dentado con piñón, cuyo diámetro es de 3.18 [cm].



**Figura 3.3:** Descripción del Sistema Físico

Los resortes son intercambiables y están provistos en valores nominales de 175 [N/m], 450 [N/m] y 800 [N/m]. El amortiguador de aire se puede conectar directamente a cualquiera de los carros. La constante de amortiguamiento puede ser ajustada mediante la válvula del flujo de aire, situada en la parte posterior del amortiguador. Los valores de la inercia pueden variar cambiando el número de barras de latón (hasta 4 barras de  $500 \pm 5$  [g] c/u) en los carros.

Como se puede observar en la Figura 3.4, el sistema cuenta de dos encoders que permiten medir la posición de dos masas de manera independiente, un actuador, dos masas variables independientes, tres resortes y un amortiguador. Los valores nominales de los parámetros de la planta utilizados durante el desarrollo de este trabajo se muestran en la tabla 3.1.

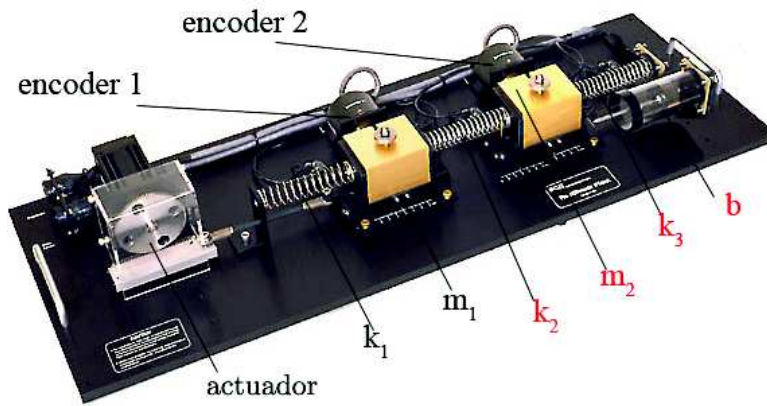


Figura 3.4: Componentes del sistema 210 de ECP

Cuadro 3.1: Valores Nominales de los elementos de la planta

Elemento	Valor nominal
$m_1$	1.28 [kg]
$m_2$	1.05 [kg]
$k_1$	450 [N/m]
$k_2$	175 [N/m]
$k_3$	450 [N/m]
$b$	15 [N·s/m]

### 3.1.1. Implementación del Control en Tiempo-Real

El sistema de control está conformado por tres subsistemas: El mecanismo que incluye al motor y sensores, el controlador y mecanismos electrónicos en tiempo-real y el software de interface con el usuario o sistema.

El usuario especifica el algoritmo de control en el programa ejecutor, Simulink R13 de Mathworks para este caso, y se carga a la tarjeta controladora (**DSP**) en tiempo-real. La DSP ejecuta el algoritmo en la frecuencia de muestreo especificada (1 [kHz]). Este proceso involucra la lectura de la entrada de referencia y los valores de retroalimentación de los sensores (encoders ópticos), el cómputo del algoritmo y el procesamiento de la señal digital de la salida del control al convertidor digital-analógico (**DAC**).

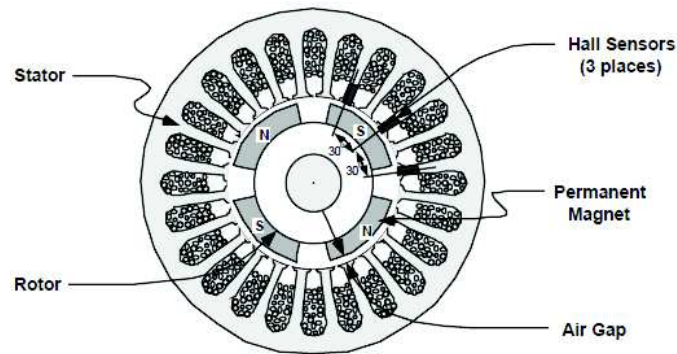
El DAC convierte el flujo de palabras digitales resultante en un voltaje analógico, el cual se transforma en corriente por el módulo de potencia y luego en torque en el motor. El mecanismo de riel y el piñón convierte el torque en una fuerza. El mecanismo transforma la entrada del motor en movimiento hacia la salida deseada de acuerdo a las dinámicas de la planta. Estas salidas de la planta son medidas por los encoders, dando como salida un flujo de pulsos. Los pulsos son decodificados por un contador en la tarjeta DSP y puestos a disposición como una palabra digital de la posición en el algoritmo de control en tiempo-real. La salida analógica del DAC está en el rango de  $\pm 10$  volts, los cuales corresponden de +32767 a -32768 cuentas. Es de vital importancia hacer notar que estos últimos valores están dados en **cuentas** y no en grados o radianes. El DAC trabaja con 16 bits ( $2^{15}$ ), por lo que +32767 cuentas corresponden a +9.999 volts y -32768 cuentas a -10 volts.

Durante todo el proceso, cualquier información especificada por el usuario es capturada y almacenada en la memoria de la tarjeta. Una vez terminado el proceso, la información es cargada a la memoria de la computadora, ya sea para graficación o almacenamiento de la información.

### 3.1.2. Motor

La principal ventaja de un motor de corriente continua (**DC**) sin escobillas (también conocido como un motor síncrono de imanes permanentes) sobre el motor convencional de corriente continua con escobillas, es la eliminación de la fricción y el desgaste asociados a las escobillas.

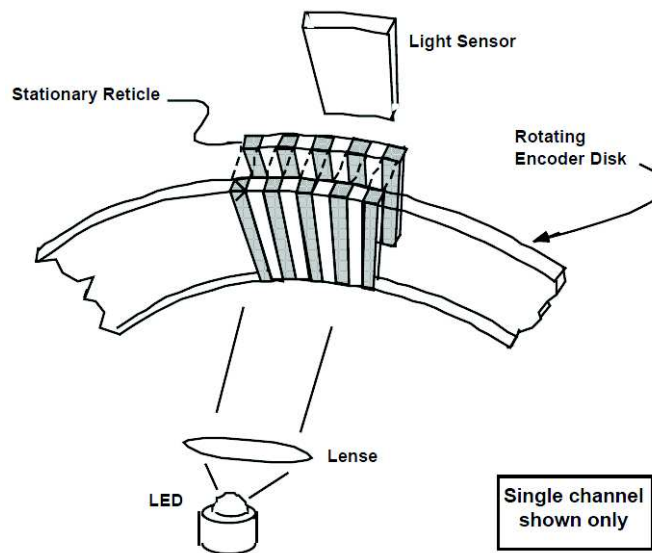
La Figura 3.5 muestra una vista transversal de un motor típico de DC sin escobillas. En contraste con el motor de DC convencional con escobillas, los imanes permanentes están fijos al rotor.



**Figura 3.5:** Vista transversal de un motor típico de DC sin escobillas (cuatro polos)

### 3.1.3. Sensores

El sistema cuenta con tres encoders incrementales de eje rotatorio. Dos de ellos se utilizan para medir la posición de las masas de forma independiente. Cada encoder tiene una resolución de 4000 pulsos por revolución, cuyo equivalente es de 160 [cuentas/mm], lo cual significa que el valor mínimo que puede detectar el encoder es de  $6.25 \mu\text{m}$ . El tercer encoder está acoplado directamente al motor y solo se utiliza para propósitos de conmutación. Este último encoder tiene una resolución de 1000 pulsos por revolución. Los encoders son ópticos y su principio de funcionamiento se muestra en la Figura 3.6.



**Figura 3.6:** Principio de Operación de un Encoder Óptico Incremental