

EQUIPOS ELECTRÓNICOS

PRÁCTICAS de LABORATORIO

Regulación de la velocidad de un motor desde un ordenador PC

DEPARTAMENT D'ENGINYERIA ELECTRÒNICA

Barcelona, junio de 2001

INTRODUCCIÓN

El objetivo técnico de estas prácticas es regular la velocidad de un motor de continua de imán permanente (Philips-Airpax 9904 120 52402) de forma que gire a una velocidad preseleccionada, ajustable por el usuario. La interacción de éste con el sistema se hace mediante un ordenador personal.

Aunque se pretende que esta práctica sea sobre todo un ejercicio de diseño, su desarrollo en un entorno docente condiciona el planteamiento del problema y las opciones aceptadas para la solución. Se advierte por ello al alumno que sería un error confundir esta práctica con un problema de diseño "real". Podrá observarse, por ejemplo, que las condiciones ambientales (temperatura, interferencias, etc.) se tienen muy poco en cuenta. Además, si se analiza globalmente la solución propuesta, a una persona con experiencia no se le escapa que dicha solución no es ni mucho menos la óptima desde un punto de vista industrial. **En consecuencia, se sugiere al alumno que adopte una actitud crítica ante las decisiones que le vienen impuestas en el planteamiento de la práctica, y que exponga al profesor de prácticas todas las observaciones que juzgue oportunas.**

El sistema diseñado debe ser capaz de aceptar una consigna de velocidad, entrada desde el teclado de un ordenador personal, y hacer girar el motor a dicha velocidad cuando éste acciona cargas mecánicas de distintos valores. La velocidad de giro real debe ser presentada en la pantalla del PC en revoluciones/minuto. La interacción con el usuario deberá ser a través de un programa basado en menús. Si la velocidad seleccionada no está dentro del margen aceptable (definido por el alumno), o si el usuario no emplea el menú adecuadamente, deberán darse las alarmas correspondientes. La introducción de otras alarmas o de protecciones en el algoritmo de control, o ambas cosas, se valorará positivamente. Para la programación se utilizará el lenguaje C.

Se recomienda documentar todo el trabajo realizado, tanto en el hardware como en el software. Para ello es necesario que cada alumno disponga de un cuaderno de laboratorio donde vaya anotando lo que hace, y en particular los esquemas de los circuitos y las modificaciones que vaya introduciendo en ellos.

Para no deteriorar el material empleado, **se recomienda añadir las protecciones hardware y software que se juzguen necesarias, y no pasar a verificaciones experimentales sin antes realizar los cálculos previos, siquiera aproximados.**

Para la realización de esta práctica, el alumno debe disponer de las especificaciones de todos los componentes utilizados y que se encuentran recogidas en el documento "Especificaciones de Componentes" complementario a este manual.

Los contenidos de estas prácticas han sido desarrollados a partir de la correspondiente práctica de laboratorio de la antigua asignatura de Sistemas Electrónicos de la titulación de Ingeniería de Telecomunicación del Plan 64 de la ETSETB.

ORGANIZACIÓN DE LA PRÁCTICA

La práctica está configurada en una sesión de introducción y cuatro partes de 3 sesiones de 2 horas cada una.

Introducción

Sesión 1:
Introducción.

Parte 1:

Sesión 2:
Sensor Hall.
Sesión 3:
Acondicionador de señal.
Sesión 4:
Motor de continua.

Parte 2:

Sesión 5:
Método de medida.
Sesión 6:
Análisis del circuito de transmisión al PC.
Sesión 7:
Conexión al PC.

Parte 3:

Sesión 8:
Programa de lectura de datos.
Sesión 9:
Análisis del circuito de recepción del PC.
Sesión 10:
Programa de escritura de datos.

Parte 4:

Sesión 11:
Algoritmo de regulación.
Sesión 12:
Pruebas de regulación.
Sesión 13:
Interfaz hombre-máquina.

Cada sesión de prácticas deberá ser preparada por el alumno antes de asistir al laboratorio debiendo dedicar en media dos horas de preparación por cada dos horas de laboratorio. **Las cuestiones que se sugieren como estudio previo (aparecen en el texto numeradas como EP-X.X) deberán ser entregadas al inicio de cada sesión de laboratorio.** Asimismo, **las medidas y cuestiones que se realicen y resuelvan en el laboratorio (marcadas como R-X.X), se entregarán al inicio de la siguiente sesión.**

BIBLIOGRAFÍA

- [1] R. Pallás Areny.
Adquisición y distribución de señales.
Barcelona. Marcombo, 1993.
- [2] W.J. Tompkins y J.G. Webster.
Interfacing sensors to the IBM PC.
Englewood Cliffs. Prentice Hall International, 1988.
- [3] R. Pallás Areny.
Sensores y acondicionadores de señal.
Barcelona. Marcombo, 1994.
- [4] S. Franco.
Designing with operational amplifiers and analog integrated circuits.
McGraw-Hill, 1988.
- [5] R. Pallás Areny.
Instrumentación electrónica básica.
Barcelona. Marcombo, 1987.
o bien
R. Pallàs.
Instruments Electrònics Bàsics.
Edicions UPC, Col.lecció Aula, 1992.
- [6] Peter Norton.
El IBM PC a fondo.
Anaya, 1988.
- [7] H. Schildt.
Programación en Turbo C.
Borland-Osborne/McGraw-Hill, 1990.
- [8] S. Zimmerman.
La biblia del Turbo C.
Anaya, 1992.
- [9] Ray Duncan.
MS-DOS Avanzado.
Anaya, 1988.

MATERIAL NECESARIO PARA REALIZAR LA PRÁCTICA

Cables:

- 6 cables unifilares con conectores tipo banana en ambos extremos
 - 3 cables (y bananas) de color rojo.
 - 3 cables (y bananas) de color negro.
- 3 cables coaxiales de 75 Ω ó 50 Ω con terminación BNC en un extremo y bananas en el otro.
 - banana color negro en la malla.
 - banana color rojo en el conductor central.
- 6 pinzas tipo cocodrilo:
 - 3 de color rojo.
 - 3 de color negro.
- 4 hilos de conexión de 0,3 mm de grosor de 50 cm cada uno de
 - color rojo.
 - color negro.
 - 2 de otro color (amarillo, verde, azul, ...).
- 1 sonda divisora 1:10 para osciloscopio.

Herramientas:

- 1 destornillador pequeño para ajustes.
- 1 alicates de punta.
- 1 alicates "pelahilos".
- 2 diskettes de 3 1/2"
- 1 placa de conexiones (Protoboard) para el montaje de los circuitos.
(alternativamente se podrá utilizar placa tipo "uniprint "para soldar los componentes).

Componentes:

- 1 serie completa de resistencias del 5 % de tolerancia.
- 2 resistencias ajustables de los siguientes valores 1 k Ω , 10 k Ω y 100 k Ω .
- 1 serie completa de condensadores de 100 pF hasta 1 μ F.
- 2 condensadores electrolíticos de 10 μ F y 100 μ F de 25 V.
- 1 regulador LM 317T.
- 1 diodo LED de color rojo TIL220B.
- 1 diodo 1N4148.
- 2 amplificadores operacionales LM 358.
- 1 optoacoplador 4N27.

SESIÓN 1:

PRESENTACIÓN

Se ha dicho que la ingeniería es el arte de solucionar problemas técnicos empleando elementos imperfectos. La ingeniería electrónica no es una excepción. En esta primera sesión se trata de ver que ni los componentes, ni los equipos, ni el entorno de trabajo son ideales. En las siguientes sesiones se verá cómo efectivamente es posible hacer diseños que funcionen empleando precisamente dichos elementos imperfectos.

- El entorno de trabajo

Cada puesto de trabajo dispone de los siguientes instrumentos y equipos: Osciloscopio, generador de funciones, fuente de alimentación, multímetro digital, frecuencímetro y ordenador personal. Se considera importante recordar las distintas posibilidades de presentación de las señales en el osciloscopio, de los modos de disparo y del funcionamiento de la base de tiempos, así como los fundamentos de las sondas divisoras de baja capacidad. Como soporte para estos temas, nos remitimos a la lectura de un texto básico como puede ser la referencia bibliográfica [5].

La instalación eléctrica a 220 V, que por motivos de seguridad está protegida por un interruptor magnetotérmico y diferencial en cada puesto de trabajo, dispone de enchufes normalizados con toma de tierra. El interruptor magnetotérmico del puesto de trabajo hace las funciones de interruptor general por lo que el tubo fluorescente situado bajo el tablero superior de la mesa permanece encendido cuando hay tensión disponible en enchufes. Este interruptor debe apagarse al terminar la sesión de trabajo. La unidad didáctica de prácticas (11 puestos de trabajo) dispone de ICPM e interruptor diferencial general.

- Análisis de las especificaciones de los componentes.

Como ejemplo de este análisis pueden tomarse las especificaciones del LM358 (incluidas en la documentación adjunta sobre especificaciones de componentes utilizados en esta práctica). Podéis observar que en las hojas de especificaciones hay 5 grupos de datos: los datos de portada, los valores límite, unas tablas con las especificaciones numéricas, un conjunto de gráficas y las aplicaciones sugeridas para ese componente.

Los **datos de portada** sirven para tener una descripción general del componente. A veces incluyen valores de ensueño, que sólo son ciertos para las versiones de mayor calidad del componente, a un precio hasta 10 veces mayor que el de las versiones ordinarias baratas. Es una información orientada a la publicidad donde se realzan las características destacadas (para bien) y el tipo de aplicaciones sugeridas.

Los **valores absolutos máximos** aceptables se refieren a distintos factores que pueden producir daños indeterminados en el componente, de manera que no hay garantía de un funcionamiento correcto tras sobrepasar alguna de las condiciones señaladas.

Las **tablas de especificaciones** numéricas se refieren en general a parámetros que se han definido previamente al principio de la sección correspondiente en el catálogo (podéis comprobarlo en un catálogo completo de los que hay disponibles en la Biblioteca de la Escuela). El significado o las condiciones de medida o validez de algunos de los parámetros vienen matizados en notas a pie de página. Aunque estas notas suelen estar escritas en letra pequeña, a veces tienen gran importancia y llevan a tener que descartar el uso de un componente que a primera vista parecía adecuado. Las condiciones de medida más importantes suelen ser la tensión de alimentación y la temperatura, y no siempre se especifican los parámetros en las condiciones extremas para ambos factores simultáneamente.

Una forma rápida de encontrar el valor de un parámetro de interés, es buscándolo a partir de la columna de las unidades (a la derecha). Los valores mínimos, típicos y máximos, no están garantizados, salvo que se especifique lo contrario. Sólo algunos fabricantes dan el histograma del componente, relativo a algunos parámetros destacados.

Las **gráficas** recogen valores de distintos parámetros que a veces no se dan de forma numérica, y otras veces no coinciden con los de las tablas. Suele ser información a la que se presta poca atención, pero es muy importante. En particular, incluye a veces el circuito de medida empleado para un parámetro concreto, y esto ayuda mucho a comprender su significado.

Las **aplicaciones** sugeridas y las precauciones a tener en cuenta en la aplicación de un circuito integrado, son una fuente de información valiosísima. Hay que comprender que el primer interesado en los diseños basados en un circuito integrado es el fabricante de dicho circuito, y son muchísimas las funciones disponibles en forma de circuitos integrados. Por lo tanto, el diseñador de circuitos y sistemas electrónicos tiene en el fabricante un aliado que está muy interesado en facilitarle su labor.

Además, el componente físico lleva un logotipo, unas siglas, una serie de códigos numéricos y un conjunto de letras que cualifican al componente (tipo de encapsulado y grado de calidad). Podéis indagar su significado consultando algún catálogo completo de los disponibles en la Biblioteca.

Trabajo personal: Repetir este ejercicio por cuenta propia, en casa, con el convertidor Digital-Analógico TLC 7524.

- Nociones sobre interferencias resistivas y capacitivas.

Con frecuencia, sobretodo durante la fase de diseño, nos encontramos que el comportamiento de un determinado circuito equipo o sistema, no es el que teníamos previsto. Tras revisarlo, en ocasiones encontramos que la causa de este funcionamiento anómalo está en errores de diseño, de cálculo o simplemente de montaje o instalación. No obstante, en otras muchas ocasiones, tras revisar y descartar los errores anteriormente mencionados, la mayor parte de las veces el mal funcionamiento se debe a interferencias de origen resistivo y/o capacitivo.

Para ayudarnos a entender y resolver los problemas asociados a las interferencias, hay dos hechos muy simples que han de asumirse:

- **TODO TRAMO DE UN CONDUCTOR**, incluidos aquellos contenidos dentro de componentes, posee una determinada impedancia eléctrica que es función de su longitud, sección, forma y frecuencia de la corriente que circula por él, pudiendo dar origen a "interferencias resistivas".
- **TODO PAR DE CONDUCTORES**, o zonas conductoras, incluidos los que forman parte de un componente, presentan una capacidad eléctrica entre ambos, cuyo valor es función del tamaño y posición relativa de cada pareja de conductores. Estas capacidades son las que pueden dar lugar a "interferencias capacitivas".

Abordar los problemas de interferencias desde el punto de vista de la ingeniería, pasa por no desestimar la impedancia de algunos tramos de conductor que habíamos "supuesto ideales", y/o no despreciar el acoplamiento (capacitivo) entre algún par de conductores.

En el laboratorio se propone realizar un ejercicio de manifestación de interferencias resistivas utilizando la fuente de alimentación para alimentar un pequeño motor de corriente continua y el osciloscopio, que sería el detector o víctima, midiendo dicha tensión de alimentación. Para poner de manifiesto las interferencias capacitivas, puede utilizarse algún cable conectado al osciloscopio tocando el otro extremo con nuestros dedos.

Para aquellos alumnos que no tengan experiencia anterior con el tema de interferencias, se recomienda lean la referencia [2] capítulo 7.

- Objetivos y descripción de las prácticas. Esquema de bloques.

El objetivo de estas prácticas es acercar al alumno, a través del diseño en el laboratorio, a los equipos electrónicos para el acondicionamiento, la adquisición y la distribución de señales, considerándose muy importante la adquisición por vía experimental de una metodología para el diagnóstico sistemático de los circuitos electrónicos.

El diagrama de bloques de la figura muestra la forma propuesta para realizar la regulación de velocidad de un pequeño motor, utilizando un hardware específico, que se comunica con un ordenador personal. Esta solución, aunque en concepto es adecuada, no deja de estar limitada por el entorno de laboratorio en que se implementa, distando de ser una solución real suficientemente robusta para ser utilizada en un ambiente industrial. En este último caso deberían de tenerse en cuenta otros condicionantes que usualmente no están presentes en el entorno de laboratorio.

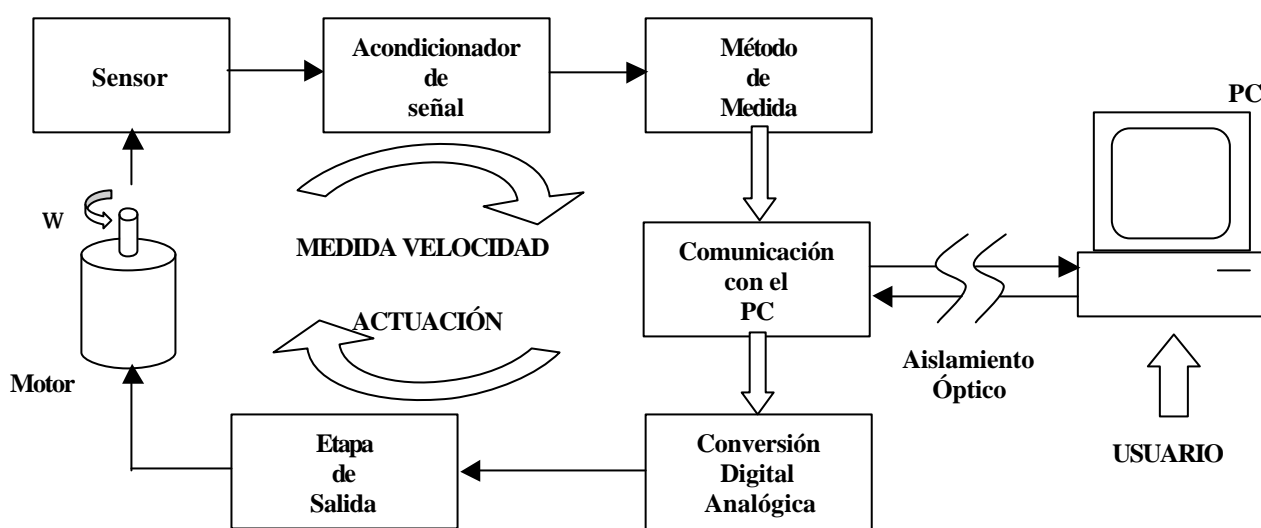


Figura 1.- Diagrama de bloques de la práctica.

La propuesta se basa en una rama superior que realiza la medida de velocidad mediante un sensor que permite conocer la velocidad actual a la que gira el motor, y otra rama de actuación que permite corregir la excitación del motor atendiendo a si la velocidad medida coincide o no con la solicitada por el usuario. La comunicación entre esta parte del sistema y el PC se realiza mediante su puerto serie. Esta conexión incluye un aislamiento para evitar problemas asociados con la diferencia de potencial entre las masas de ambas partes. El programa que controla el sistema y que facilita la interacción del usuario con el sistema se encuentra albergado en el PC.

PARTE 1. Sensor Hall, Acondicionador de Señal y Motor de Continua

SESIÓN 2: SENSOR HALL

Las lecturas recomendadas para la realización del trabajo previo a esta sesión son: referencia [3] apartado 4.3.2 y referencia [1] apartado 2.2.

El sensor elegido es el UGN-3501U (Allegro MicroSystems Inc, antes Sprague) que está basado en el efecto Hall. En resumen, este efecto consiste en la generación de una diferencia de potencial cuando se aplica un campo magnético a un semiconductor por el que circula una corriente. Por tanto, la medida de velocidad del motor se realiza de forma indirecta a partir de la medida de las fluctuaciones del campo magnético en el exterior de la carcasa del motor debidas al movimiento de sus devanados internos.

A partir de las especificaciones de este sensor (Anexo “Especificaciones de Componentes”), determinar:

- Márgenes de medida:

- Amplitud (campo magnético):

$$< B < \quad [EP-2.1]$$

- Frecuencia (campo magnético):

$$< f < \quad [EP-2.2]$$

- ¿Tiene respuesta en continua, o se trata de un sensor que responde sólo a las variaciones de densidad de flujo magnético?

[EP-2.3]

- ¿Cuál es la máxima velocidad de rotación que se puede medir, expresada en revoluciones/minuto (r/min)?

[EP-2.4]

Se presupone que estos márgenes de medida son adecuados para la aplicación deseada.

- Características estáticas:

- Sensibilidad típica:

$$S = \quad [EP-2.5]$$

- ¿Cuál es la tensión de salida para $B = 0 \text{ G}$, 12 V y 25°C ?

$$V_o = \quad [EP-2.6]$$

- ¿Cuál es la resolución en la medida del campo magnético si las frecuencias de interés estuvieran entre 10 Hz y 10 kHz ? Tener en cuenta que la tensión mínima de salida del sensor está limitada por el ruido de salida.

$$\text{Resolución} = \quad [EP-2.7]$$

El motor cuya velocidad deseamos medir con el sensor Hall es el 9904 120 52402 de Philips-Airpax que se va a estudiar con más detalle en la sesión 4. En esta sesión simplemente se desea alimentar el motor a diferentes tensiones para poder variar su velocidad de giro.

Diseñar un circuito que alimente al motor con una tensión ajustable entre 1,25 V y 8 V, a partir de la alimentación común de 12 V. Considerar el uso del regulador de tensión LM317T para la realización de este circuito (consultar la referencia [4], capítulo 10 sobre reguladores de tensión y las especificaciones de este componente en el Anexo “Especificaciones de Componentes”).

Circuito diseñado:

[EP-2.17]

¿Es importante proteger el motor frente a una inversión de la polaridad de la tensión de alimentación? ¿Por qué?

[EP-2.18]

La parte experimental de esta sesión consiste en medir la tensión de salida del sensor colocado sobre el cuerpo del motor cuando éste gira a diferentes velocidades. Para ello, debe montarse el circuito basado en el LM317T para que a partir de 12 V (de esta misma fuente de 12 V debe también alimentarse el sensor) pueda alimentarse el motor a diferentes tensiones.

Al alimentar el sensor debe tomarse la precaución de utilizar el circuito de protección contra una inversión de la polaridad de la tensión de alimentación. Se desaconseja la comprobación de la eficacia de la protección directamente sobre el sensor. Este debe haber sido probado con anterioridad.

Si el sensor se alimenta con la misma tensión que el motor (esto es, se utilizan los dos mismos cables para llevar la tensión desde la salida de la fuente de alimentación de 12 V hasta el circuito de alimentación del motor y hasta el sensor), ¿qué repercusiones pueden tener en el sensor los transitorios en la tensión de alimentación producidos por las conmutaciones de las escobillas del motor?

[R-2.1]

Comparar la situación con la alimentación en estrella de ambos circuitos, es decir, utilizando dos cables desde la salida de 12 V para la alimentación del motor y otros dos cables distintos desde la salida de 12 V hasta el sensor.

Indagar mediante el sensor Hall cuáles son los puntos de la cubierta del motor donde hay un mayor flujo magnético de dispersión. Describirlos:

[R-2.2]

A continuación, para verificar el principio de medida propuesto, proceda a medir la tensión de salida del sensor para diferentes tensiones aplicadas al motor.

- Componente continua:

$$V_o = \quad \quad \quad [R-2.3]$$

- Componente alterna para diferentes tensiones aplicadas al motor (2, 4, 6, 8V):

- Amplitud:

[R-2.4]

- Frecuencia:

[R-2.5]

- ¿Cuál es la característica de la señal de salida que varía con la velocidad de giro del motor?

[R-2.6]

SESIÓN 3:

ACONDICIONADOR DE SEÑAL

A partir de las medidas realizadas en la sesión anterior se conoce cuál es el margen de amplitud y frecuencia de la señal de salida del sensor. Asimismo sabemos que la salida del sensor es en forma de tren de pulsos con lo que la obtención de la velocidad de giro se basará en contar el número de pulsos y por lo tanto no hará falta una conversión A/D. Todo esto determina algunos de los objetivos del acondicionamiento.

En un sistema con varios sensores, lo normal es tener algún tipo de interfaz inteligente (tarjeta con $\mu P/\mu C$) que permita aprovechar al máximo las posibilidades (velocidad, número de líneas controlables) del puerto del PC ocupado. Esta tarjeta exigiría niveles de alimentación TTL (0 - 5 V ó 0 - 3,3 V). Aquí se prescinde de la tarjeta inteligente y de la exigencia de dar el resultado de la medida de la velocidad de giro con niveles de tensión TTL.

En la solución adoptada en esta práctica el circuito de acondicionamiento de señal adaptará la señal de salida del sensor en una señal cuadrada (con niveles de 0 – 12 V ya que todo el sistema se alimenta a esta tensión) de forma que permita una fácil conversión de pulsos (frecuencia) al código digital correspondiente a la velocidad de giro del motor.

La etapa de acondicionamiento consta de dos etapas: un amplificador paso-banda que amplifica y filtra el ruido de la señal de salida del sensor y una segunda etapa basada en un comparador con histéresis que recuadra la señal.

¿Cuál debe ser la impedancia de entrada mínima del amplificador para que éste no cargue al sensor?

$$Z_{in} >$$

[EP-3.1]

A partir de las medidas de la sesión anterior podemos considerar que la señal del sensor está entre 20 Hz y 200 Hz, y que requiere una ganancia del orden de 200 para obtener tensiones de amplitud del orden de voltios. Asimismo, para simplificar la alimentación del sistema, el acondicionador se alimenta a 12 V como el resto de circuitos. Los amplificadores operacionales disponibles, que aceptan alimentación simple (entre tensión positiva y masa), son los del LM358 (ver especificaciones en el Anexo “Especificaciones de Componentes”). El tema de la alimentación simple para amplificadores operacionales se puede encontrar en la referencia [4], págs. 33-35.

Diseñar un amplificador con $G = 200 \text{ V/V} \pm 20\%$, BW aproximado (a -3 dB): 20 Hz a 200 Hz (pendiente de 20 dB/década), que acepte una entrada con un nivel de continua entre 2,5 V y 5,0 V, y ofrezca una salida centrada en un nivel de continua igual a la mitad de la tensión de alimentación (12 V). Un posible punto de partida son los circuitos de aplicación sugeridos por el fabricante para el LM358. En concreto, el que puede ser de más de utilidad es el referido como amplificador no inversor acoplado en AC, ya que si se añade un condensador en paralelo a la resistencia de realimentación del amplificador operacional, se obtiene una respuesta paso-banda como la deseada.

Amplificador paso-banda: (deben emplearse valores comerciales de los componentes)

[EP-3.2]

Para disponer de una señal digital con niveles 0 - 12 V (o similares) y flancos abruptos que faciliten la medida de su frecuencia se puede utilizar un comparador con histéresis que recuadre la señal de salida del amplificador. En la referencia [4], apartados 7.5 y 7.6 y en la referencia [2], páginas 12-14 se explican con detalle este tipo de circuitos.

Diseñar un comparador basado en un AO que tenga una anchura del ciclo de histéresis del 10% del margen de salida del amplificador y que no cargue al amplificador previo. Para que el recuadrado sea correcto, el ciclo de histéresis debe estar centrado a la misma tensión que la señal de salida de la etapa anterior.

Comparador con histéresis: (deben emplearse valores comerciales de los componentes)

[EP-3.3]

La parte experimental de esta sesión consiste en la comprobación y la caracterización del funcionamiento del acondicionador de señal.

Montar el amplificador, y comprobar su ganancia y ancho de banda. Utilizar una señal de prueba de unos 5mV para no saturar el amplificador. Si la salida del generador de funciones no permite amplitudes tan pequeñas la señal puede obtenerse a partir de un divisor de tensión conectado a su salida.

f (Hz)	2	10	20	50	100	150	200	1000
G								

[R-3.1]

A partir de estas medidas, dibujar la respuesta frecuencial del amplificador. Es aconsejable realizar esta gráfica en papel semilogarítmico.

[R-3.2]

¿Cuáles son las frecuencias de corte inferior y corte superior (a -3 dB) del amplificador paso-banda?

$$f_{L(-3dB)} = \quad \quad \quad f_{H(-3dB)} = \quad \quad \quad [R-3.3]$$

Montar el comparador y comprobar su ciclo de histéresis. A partir de las medidas, dibujar la característica tensión de entrada – tensión de salida del comparador.

[R-3.4]

¿Cuáles son los umbrales de conmutación del comparador?

$$\text{Umbral de histéresis bajo} = \quad \quad \quad \text{Umbral de histéresis alto} = \quad \quad \quad [R-3.5]$$

Conectar el conjunto amplificador - comparador y comprobar su funcionamiento. Verificar el funcionamiento del circuito de acondicionamiento aplicando una señal de prueba.

Una vez probado y asegurado el correcto funcionamiento del circuito acondicionador sobre la placa de conexiones, dibujar el esquema con los valores de los componentes definitivos.

[R-3.6]

Se aconseja pasar este circuito a una placa de circuito impreso o a una placa perforada con pistas de cobre para su posterior utilización en las siguientes sesiones.

SESIÓN 4:

MOTOR DE CONTINUA

El objeto de la práctica es la regulación de un motor de continua. Una lectura recomendada sobre motores de continua es la referencia [1] apartado 2.3.3. El método para ajustar la velocidad del motor es a través de su tensión de alimentación. Para ello falta saber cuál es la relación entre dicha tensión y la velocidad de giro. Esta relación depende de la carga mecánica que se aplica al motor y que se puede separar en dos partes: la carga externa aplicada al eje del motor, que nos dará el trabajo útil, y la carga interna o pérdidas mecánicas, que son inevitables e independientes de la carga externa.

Para un motor de continua con un momento de inercia J (carga y armadura), rozamiento viscoso F , rozamiento estático T_f y una carga externa aplicada T_L , dar la expresión de su par motor T .

[EP-4.1]

Si la fuerza contraelectromotriz del motor viene dada por $E_g = K_E \omega$, ¿Cuál es la tensión V_a aplicada a la armadura del motor? (Considerar las pérdidas eléctricas R_a y la corriente que circula por el motor I_a que está relacionada con el par por la expresión $T = K_T I_a$)

[EP-4.2]

Escribir la ecuación diferencial del sistema que relaciona la velocidad de giro y la tensión aplicada al motor.

[EP-4.3]

¿Cuál es la relación teórica entre la tensión de la armadura y la velocidad de rotación, cuando el motor está en "vacío" (sin carga aplicada), pero se considera la inercia de la armadura y la existencia de rozamientos viscosos no nulos (i.e. se desprecian los rozamientos secos o estáticos)? Esta relación es más fácil obtenerla en función de s (dominio de Laplace) mediante la resolución de la ecuación diferencial en este dominio.

[EP-4.4]

Dibujar la respuesta en velocidad del motor cuando se le aplica un escalón de tensión en las condiciones anteriores.

[EP-4.5]

Si ahora el motor soporta una carga externa aplicada. Para una carga mecánica dada (par resistente constante), la velocidad de giro ¿es proporcional a la tensión de la armadura?

[EP-4.6]

¿Cómo se podría medir la impedancia eléctrica de la armadura?

[EP-4.7]

El motor cuya velocidad se debe regular es el 9904 120 52402 de Philips - Airpax. A partir de las especificaciones dadas por el fabricante (Anexo “Especificaciones de Componentes”), dar las siguientes características del motor:

- **Valores nominales de los parámetros del motor:**

- Tensión de alimentación: [EP-4.8]
- Carga nominal: [EP-4.9]
- Velocidad en vacío: [EP-4.10]
- Corriente en vacío: [EP-4.11]
- Velocidad con carga nominal: [EP-4.12]
- Corriente con carga nominal: [EP-4.13]

- **Valores límite:**

- Tensión de alimentación: [EP-4.14]
- Carga: [EP-4.15]
- Temperatura ambiente: [EP-4.16]

- **Otras características:**

- ¿Cuál es el factor del engranaje de reducción del motor? [EP-4.17]
- ¿Lleva protección de las escobillas incorporada el motor utilizado? [EP-4.18]
- ¿Su estabilidad de velocidad es alta o baja? [EP-4.19]

Diseñar un circuito que permita detectar el sentido de giro del motor. Consultar la referencia [3] apartado 8.1.1.

[EP-4.20]

El estudio experimental del motor debe realizarse usando el circuito de alimentación diseñado en la sesión 2 (EP-2.17) para variar la tensión aplicada a la armadura. Si la fuente de alimentación disponible tiene un control de límite de corriente ajustable, establecerlo para evitar que circule una corriente muy superior a la nominal, con carga y alimentación nominales. Asegúrese de que comprende el funcionamiento de dicho control de límite de corriente. **Realizar las pruebas con el motor en posición horizontal.**

Determinar experimentalmente la relación tensión-corriente para el motor en vacío. ¿Qué conclusión sobre la linealidad se obtiene del resultado? Medir la corriente con un amperímetro y la tensión con un voltímetro.

V_a (V)	1,25	2	3	4	5	6	7	8
I_a (mA)								

[R-4.1]

Conclusión: ¿la relación es lineal?, ¿no lineal?, ¿por qué?

[R-4.2]

Para las siguientes cuestiones debe utilizarse el circuito acondicionador de señal con el sensor conectado para medir las fluctuaciones del campo magnético en la cubierta del motor.

Observar la forma de la señal obtenida a partir del flujo de dispersión a la salida del amplificador paso-banda, antes de recuadrarla. Dar una posible explicación de la forma de onda observada. ¿Es simétrica la señal de salida?

[R-4.3]

Comparando la frecuencia de los impulsos obtenidos a partir del flujo de dispersión, con la que se obtiene al estimar visualmente la velocidad del eje de salida, determinar la relación numérica k entre la frecuencia de los impulsos del flujo de dispersión y la velocidad real de giro (en vueltas por segundo). Inspeccionar el motor desmontado disponible en el laboratorio para justificar el resultado.

$k =$

[R-4.4]

- Característica tensión - velocidad:

Determinar la relación entre la velocidad del eje del motor y la tensión en su armadura en los siguientes casos: en vacío, cuando su eje se conecta al de otro motor igual con su devanado en circuito abierto, y cuando este último se cortocircuita. Cuando se conecta un segundo motor de carga al motor principal, deben sujetarse los dos para que solo giren sus ejes. **¡Cuidado con los dedos al sujetar los motores!**

En vacío:

V_a (V)	2	3	4	5	6	7	8
n (r/min)							

[R-4.5]

En carga (motor con devanado en circuito abierto):

V_a (V)	2	3	4	5	6	7	8
n (r/min)							

[R-4.6]

En carga (motor con devanado en cortocircuito):

V_a (V)	2	3	4	5	6	7	8
n (r/min)							

[R-4.7]

Estas medidas no deben prolongarse demasiado, porque las corrientes de armadura de ambos motores podrían dañarlos. Si se usa el regulador de tensión, éste se calentará bastante, aunque está internamente protegido.

¿Cuál es el margen de frecuencias de la señal de interés para el margen de tensiones de armadura anterior?

$< f <$

[R-4.4]

PARTE 2. Método de medida, análisis del circuito de transmisión y conexión al PC.

SESIÓN 5. MÉTODO DE MEDIDA.

La información de velocidad de giro del motor está contenida en la frecuencia de la señal de salida del acondicionador. La medida de la frecuencia de una señal puede hacerse por dos métodos distintos (ver la referencia [5], capítulo 4). Analizar estos dos algoritmos de medida, considerando el error aceptable y el tiempo de medida que necesita cada uno:

Método 1: Medir la frecuencia de la señal de entrada a base de contar los impulsos producidos durante un intervalo de tiempo conocido.

Método 2: Medir el período de la señal de entrada mediante el conteo durante ese tiempo de los pulsos de una señal de referencia, y efectuar posteriormente la conversión período-frecuencia (por ejemplo, mediante un $\mu P/\mu C$, bien por cálculo bien mediante una tabla de conversión).

En ambos casos se trata de contar pulsos de una señal de entrada durante un cierto tiempo mediante un contador. ¿Cuál es el error inherente a una medida basada en contar, cuando la señal de control de conteo y la señal que se cuenta no son sincronicas? Expresarlo en número de cuentas.

$$\text{error} = \quad \quad \quad [\text{EP-5.1}]$$

A igual exactitud, ¿cuál de los dos métodos de medida propuestos es más rápido?

[EP-5.2]

El objetivo es presentar el resultado en revoluciones por minuto, no en hercios. ¿Cuál de los métodos de medida propuestos (período o frecuencia) se presta mejor a la conversión de unidades? Justificar la respuesta.

[EP-5.3]

En la solución propuesta e implementada en la placa de circuito impreso disponible (ver los esquemas y documentación de la misma al final de este manual), el método de medida adoptado es el de la frecuencia. El diagrama de bloques de esta parte es el que aparece en la figura siguiente.

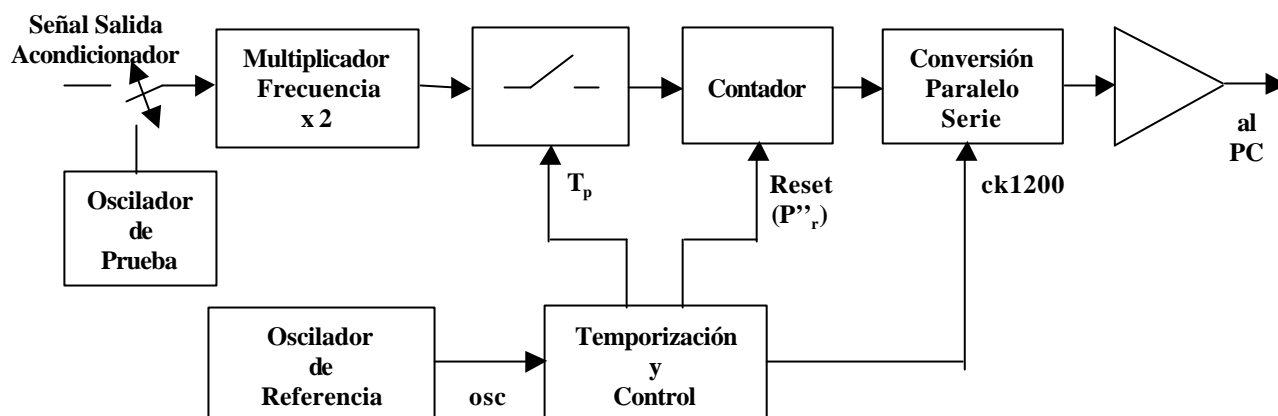


Figura 2.- Diagrama de bloques del método de medida.

Para este método, determinar el tiempo de puerta T_p necesario para medir la frecuencia de los impulsos de entrada con una resolución de ± 2 r/min en la medida de la velocidad de giro del eje de salida. Debe tenerse en cuenta que el número de impulsos que se envían al contador es el doble de los obtenidos por el sensor, pues se aplican antes a un circuito multiplicador de frecuencia.

$$T_p = \quad \quad \quad [\text{EP-5.4}]$$

Si se utiliza un contador de 8 bits para contar pulsos de entrada durante el tiempo T_p , determinar el margen de velocidades de giro del eje de salida que se puede medir para poder expresar el resultado con un solo byte.

$$< n \text{ (r/min)} < \quad \quad \quad [\text{EP-5.5}]$$

La velocidad de giro del motor medida con el método descrito e implementado en la placa de pruebas debe presentarse en la pantalla de un ordenador personal. La comunicación entre la placa y el PC será a través del puerto serie RS-232C (puerto COM1). Estas conexiones al PC están aisladas ópticamente como se verá en sesiones siguientes.

Por tanto el resultado del conteo en forma de un byte disponible en paralelo a la salida del contador debe configurarse en la estructura típica utilizada para transmisiones asíncronas serie. La velocidad de transmisión elegida es de 1200 bits por segundo.

Si se desea obtener a partir de un mismo oscilador de referencia osc tanto el tiempo de puerta T_p mediante el conteo de un número determinado de ciclos de esta referencia, como el reloj que fija la velocidad de transmisión $ck1200$ mediante una división de frecuencia, ¿Cuál debe ser la frecuencia mínima del oscilador de referencia para que a partir de él se puedan obtener el tiempo de puerta y el reloj de transferencia paralelo-serie?

$$f_{osc} = \quad \quad \quad [\text{EP-5.6}]$$

La parte experimental de esta sesión consiste en identificar en el esquema y en la placa de circuito impreso los circuitos integrados que realizan las diferentes funciones presentadas en el diagrama de bloques de la figura 2. Para medir las diferentes señales del circuito se aconseja utilizar los diferentes puntos de test marcados como T_ en el esquema.

La verificación del funcionamiento del circuito de medida se hace más fácil si se utiliza el oscilador auxiliar de prueba conectando el puente JP1. Este oscilador genera una señal con las mismas características de la obtenida con el circuito acondicionador (Ver: Información para el diseño de osciladores CMOS en el Anexo “Especificaciones de componentes”). De este forma nos evitamos tener que conectar todos los bloques anteriores (motor + sensor + acondicionador) en esta etapa del estudio.

- Identificar en el esquema el oscilador de prueba. Buscar los circuitos integrados que lo componen en la placa de circuito impreso. Medir el margen de frecuencias que da este oscilador con el osciloscopio o el frecuencímetro.
- ¿Qué circuitos integrados constituyen el oscilador auxiliar de prueba? Emplear la designación Uxx que se utiliza en el esquema del circuito.

[R-5.1]

- ¿Cuál es la frecuencia máxima y mínima de los impulsos de salida del oscilador auxiliar de prueba? (Medirla con el osciloscopio calibrado).

$$< f < \quad [R-5.2]$$

- ¿Cuál es la función de las puertas lógicas U6C y U6D (4001)?

[R-5.3]

El tiempo de puerta obtenido en [EP-5.4] se puede obtener mediante un contador/divisor, a partir del oscilador de referencia.

- Identificar en el esquema el contador y el oscilador. Buscar el circuito integrado del contador en la placa de circuito impreso. Medir la frecuencia de este oscilador de referencia y la duración del tiempo de puerta T_p .

- ¿Qué circuitos integrados constituyen el oscilador de referencia?

[R-5.4]

- ¿Coincide con la frecuencia calculada en la cuestión [EP-5.6]? En caso contrario ha de ajustarse a 4800 Hz.

[R-5.5]

- ¿Cuál es el circuito integrado que genera el tiempo de puerta y la referencia para la velocidad de transmisión?

[R-5.6]

- ¿Cuántos ciclos del oscilador de referencia se cuentan para generar T_p ?

$$N = \quad [R-5.7]$$

- ¿Cuál es el tiempo de puerta medido? Para ello es aconsejable disparar el osciloscopio en modo normal seleccionando un flanco descendente y un nivel de tensión que esté entre 0 y 12 V.

$$T_p = \quad [R-5.8]$$

El ciclo de medida de la velocidad debe contemplar al menos tres fases: inicialización, conteo y transferencia del resultado a la etapa siguiente. El conteo se hace con un contador similar al empleado para determinar el tiempo de puerta. Para aumentar la resolución se generan dos impulsos a partir de cada uno de los impulsos de salida del sensor, utilizando un circuito denominado "multiplicador de frecuencia x2".

- Localizar el multiplicador de frecuencia en el esquema. Identificar los circuitos integrados de la placa que realizan esta función.

- ¿Qué circuitos integrados constituyen el multiplicador de frecuencia?

[R-5.9]

- ¿Qué circuitos integrados realizan la medida de la velocidad, es decir, el conteo de la frecuencia de entrada?

[R-5.10]

Dado que la salida del contador será en formato paralelo y la transmisión deber ser en formato serie, el resultado del contador hay que transferirlo a un convertidor paralelo - serie. Para esta conversión, un posible recurso son los registros de desplazamiento, que aceptan transferencia por flancos.

- Identificar tanto en el esquema como en el circuito impreso los registros de desplazamiento.
 - ¿Qué circuitos integrados realizan la conversión paralelo - serie?

[R-5.11]

El protocolo de comunicación asíncrona serie (Ver la referencia [2] apartados 6.1 a 6.9), impone varias exigencias. Por una parte, la señal emitida debe constar de un bit de “start” (transición de nivel alto a bajo), uno de “stop” (nivel alto), y entre ellos un byte de datos, después del cual se puede incluir un bit más de paridad, cosa que no haremos en este caso.

La conversión paralelo - serie se realizará al mismo tiempo que se forma la trama completa (con los bits de “start” y “stop”). Para ello es necesario que la conversión de formato se realice una vez haya acabado el tiempo de contaje en el contador de medida de la velocidad de giro. En total se tendrán 10 bits, y como los registros de desplazamiento integrados son de 8 bits, habrá que emplear dos de ellos. (Algunos fabricantes ofrecen registros de longitud variable hasta 64 y 128 bits).

- Identificar en el esquemas los bits de “start” y “stop” y mirar cómo están conectados a V_{cc} y GND.
 - ¿Qué función tiene la señal P/S ?

[R-5.12]

Por otra parte, la duración de cada bit viene determinada por la velocidad de comunicación, que debe ser previamente acordada con el receptor. Se empleará aquí una velocidad de 1200 baudios. La cadencia de salida de los bits del convertidor de formato debe ser la adecuada a la velocidad de transmisión elegida.

Finalmente, antes de enviar la trama hacia el PC deben adaptarse los niveles de esta señal tanto de tensión como de corriente.

- ¿Qué circuitos integrados adaptan la señal de salida hacia el PC?

[R-5.13]

Observar la trama que aparece en TD y por tanto se envía hacia el ordenador PC. Para realizar esta medida es aconsejable disparar el osciloscopio en modo normal seleccionando un flanco descendente (bit de “start” de la trama) y un nivel de tensión que esté entre 0 y 12 V. Observar cómo varía la información en bits, contenida en la trama, al variar la frecuencia del oscilador auxiliar. Dibujar la trama medida.

[R-5.14]

SESIÓN 6:

ANÁLISIS DEL CIRCUITO DE TRANSMISIÓN AL PC.

En la selección de la familia lógica para la realización del circuito de medida se ha considerado el deseo de mantener una alimentación única de 12 V para todo el sistema. Los circuitos digitales adecuados para esta alimentación son los CMOS de la familia 4000. En concreto, la versión de esta familia que se utiliza actualmente es la 4000B. Otra alternativa sería disponer un regulador de tensión que diera una salida de 5 V y emplear entonces componentes CMOS compatibles TTL, o bien un regulador con salida entre 2V y 6V, y emplear componentes CMOS de las familias "avanzadas" (AC-, FC-).

En el uso de estos circuitos integrados deben tomarse una serie de precauciones. Consultar en el Anexo "Especificaciones de Componentes" las especificaciones generales de la familia 4000B, y en particular las protecciones de entrada y las "General operating and handling instructions". Las entradas de los componentes CMOS no utilizadas, no deben dejarse nunca al aire -flotantes- (i.e. sin conectar). Por ello están conectadas al nivel de tensión alto o bajo, según corresponda para tener un funcionamiento correcto (o al nivel que se desee, en el caso de componentes no utilizados). Aunque en componentes CMOS no es necesaria una resistencia de protección de sobrecorrientes, en cambio para facilitar la verificación del funcionamiento, puede ser interesante que dichas conexiones no sean directas sino que sean a través de una resistencia del orden de 1 k Ω . Aunque es posible emplear una única resistencia para varios canales, no conviene que la compartan más de 10.

Dar una explicación de la función de la puerta lógica U3B (4012) en el circuito analizado. ¿Por qué tiene todas sus entradas conectadas a masa?

[EP-6.1]

Estudiar el funcionamiento del circuito doblador de la frecuencia de entrada. Para ello, dibujar las señales en la entrada de U5A y U5B (señales cuadradas), después las señales que aparecen en la conexión entre R₃ y C₃ y la conexión entre R₂ y C₄ (suponer que las constantes de tiempo de estas RC son mucho menores que la mitad del período de la señal de entrada), a partir de ellas las señales de entrada a U5C y, finalmente, la salida de esta puerta lógica.

Cronograma:

[EP-6.2]

Justificar el valor de R_2 , C_4 , R_3 y C_3 .

[EP-6.3]

Si se consideran la estructura y función de U5C, explicar cuál es la función de R_4 y R_5 . Consultar las especificaciones generales de la serie 4000B, y en particular, las protecciones de entrada y las "General operating and handling instructions".

[EP-6.4]

Parte experimental:

Verificar el funcionamiento del circuito doblador de frecuencia analizado, observando en el osciloscopio las señales que intervienen en el circuito.

La señal de salida del circuito multiplicador de frecuencia, ¿es cuadrada? ¿Por qué? ¿Es esto importante para esta aplicación?

[R-6.1]

Dibujar el cronograma del circuito transmisor. Tomar como referencia la señal del oscilador base (OSC). El cronograma debe incluir, cuanto menos, las señales: OSC , $Q2$ ($U2$), $Q6$ ($U2$), T_p , P/S , P'_r , P'_v , P''_r . (utilizar papel milimetrado). Es aconsejable ampliar la parte de cronograma desde cuando se termina un ciclo de lectura (flanco descendente de T_p) hasta que vuelve a empezar el siguiente ciclo de lectura. Este cronograma puede realizarse a partir de seguir las señales en el esquema y comprobando su cada una de ellas midiéndolas posteriormente.

OSC

$Q2$ ($U2$)
 $Ck1200$

$Q6$ ($U2$)

T_p

[R-6.2]

P/S

Pins 5-6
(U4B)

P'_r

P'_v

P''_r

Justificar el porqué se utiliza la señal P''_r para resetear el contador de medida y no se utiliza directamente la señal P'_r .

[R-6.3]

SESIÓN 7:

CONEXIÓN AL PC. AISLAMIENTO ÓPTICO.

El sensor, el motor, los circuitos de acondicionamiento y los circuitos de medida se alimentan con una fuente de alimentación de 12 V, mientras que el PC se alimenta con la suya propia. Para evitar posibles problemas asociados con la diferencia de potencial entre las masas de las dos fuentes, conviene emplear optoaisladores para las entradas y salidas del PC.

Esta solución es más próxima a una situación real donde el sensor, el motor y la electrónica asociada están lejos de la unidad de control por lo que la diferencia de potencial entre las masas podría ser entonces mayor. Además, si estuviera en un entorno donde hubiera fuertes interferencias electromagnéticas, el empleo de una simple fibra óptica de plástico para conectar el conjunto sensor - motor con la unidad de control, podría ser mucho mejor que una conexión por cable. El uso de optoacopladores ofrece así una doble ventaja.

Una lectura recomendada para el tema de los optoacopladores es la referencia [1] apartado 8.5.3

El uso de un canal de comunicación serie permite reducir el número de optoacopladores empleados. Determinar el número mínimo de optoacopladores necesarios para la comunicación serie entre la placa y el PC y viceversa.

número optoacopladores = [EP-7.1]

A partir de las especificaciones que da el fabricante (Anexo “Especificaciones de Componentes”), dar las características de aislamiento del optoacoplador 4N27:

- Impedancia de aislamiento:

[EP-7.2]

- Tensión de aislamiento:

[EP-7.3]

Determinar la característica de transferencia del optoacoplador (CTR) que se define como la relación entre la corriente de colector del fototransistor dividida por la corriente que circula por el fotodiodo. Considerar que la corriente que circulará para iluminar el diodo del optoacoplador será de unos 10 mA.

[EP-7.4]

La interfaz entre el sistema a regular y el PC se realiza mediante el puerto de comunicación serie (COM1) cuyo funcionamiento viene especificado por la norma EIA RS-232. Se recomienda la lectura de la referencia [2] apartados 6.7 y 6.8 o cualquier libro sobre ordenadores personales que describa la interfaz serie, y el apartado “Algunos aspectos básicos de la Norma EIA-232” del Anexo “Especificaciones de Componentes”.

La norma RS-232 permite diferentes tipos de interconexión dependiendo del tipo de los equipos que quieren comunicarse. Dibujar el diagrama de las conexiones en los conectores respectivos del PC (DTE) y de la placa con el circuito de medida (DCE) para tener una comunicación efectiva con el mínimo de conexiones entre los dos terminales.

[EP-7.5]

Esta norma también especifica los niveles eléctricos de las señales. ¿Cuáles son los niveles de tensión para interpretar un “0” y un “1” lógicos?

[EP-7.6]

¿Cuál es la máxima longitud del cable para la máxima velocidad de transmisión permitida por la norma?

[EP-7.7]

La programación y el control de las comunicaciones en el PC se realiza mediante un circuito integrado controlador denominado UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter). Ver especificaciones de la UART 82C50A en el Anexo “Especificaciones de Componentes”. Identificar las señales que aparecen en el diagrama de conexiones de la cuestión [EP-7.5] con los terminales de la UART 82C50A. ¿Cuál es el tipo de niveles eléctricos utilizados por la UART?

[EP-7.8]

La conversión de los niveles eléctricos utilizados por la UART a los niveles eléctricos RS-232 es realizada por unos circuitos integrados específicos (drivers). El activador de línea que emplea el PC para obtener los niveles de señal propios de la norma RS-232 es el MC1488 (DS1488) para emisión y MC1489 (DS1489) para recepción (o equivalentes: SN75188/9, DS75150/4). Ver las especificaciones de estos “drivers” en el Anexo “Especificaciones de Componentes”. ¿Qué tipo de circuito son inversores o no inversores?

[EP-7.9]

La parte experimental de esta sesión consiste en el diseño y prueba de un circuito de conexión del circuito de medida con el PC con un aislamiento óptico.

La alimentación de los optoacopladores se realizará desde la placa para una parte y desde el PC para la otra de forma que se mantenga el aislamiento entre ambas. Para alimentar circuitos desde el PC se puede contar con poner siempre a nivel alto o a nivel bajo por software alguna de las líneas de control accesibles en el conector del puerto (sin que ello afecte a la comunicación). En concreto, se emplean las líneas *RTS* (Request to send, petición para transmitir) y *DTR* (Data Terminal Ready, terminal de datos preparado) para obtener las tensiones de alimentación positiva y negativa.

Diseñar la interfaz entre la salida del circuito de medida de la velocidad y la entrada del optoacoplador, y entre la salida del optoacoplador y el puerto serie del PC manteniendo el nivel lógico de las señales entre los dos extremos.

[R-7.1]

Montar el circuito anterior y comprobar su funcionamiento. Se puede conectar la entrada del circuito a la salida de la placa con el circuito de medida y utilizar una alimentación de ± 15 V para substituir la alimentación que proporcionarían las señales de control del PC. Dibujar las señales de entrada (señal *TD*, antes de la inversión producida por la etapa de salida del circuito de medida) y de salida del circuito.

[R-7.2]

El conector para la interfaz con el PC, suministrado con el resto de material para realizar la práctica, incorpora en su interior los circuitos de conexión con los dos optoacopladores y las protecciones necesarias. Por este motivo, en adelante se utilizará este conector que ya incorpora el aislamiento.

Es aconsejable **no abrir el conector**. En el laboratorio se dispone de una muestra para identificar los diferentes componentes situados en su interior.

PARTE 3. Programa de Lectura de Datos, Análisis del Circuito de Recepción del PC y Programa de Escritura de Datos

SESIÓN 8: PROGRAMA DE LECTURA DE DATOS

Nota: para poder contestar algunas de las cuestiones planteadas, es necesario consultar el manual de Turbo-C versión 2.0 de Borland, disponible en el laboratorio. Esta primera consulta debiera hacerse fuera de las horas que se tengan asignadas para clases de laboratorio.

En las anteriores sesiones, la información de la velocidad de giro del motor se ha obtenido en un formato lógico que es interpretable por el PC (una palabra digital en formato serie y siguiendo el estándar RS-232) y en un formato eléctrico (aislamiento galvánico) apropiado para la conexión al mismo. El siguiente paso corresponde al desarrollo de un programa de *software* que realice la programación a bajo nivel de las características de comunicación y que, asimismo, sea capaz de leer los datos que acceden al puerto de comunicación del PC de forma asíncrona.

En este sentido, se recuerda que para la lectura de los datos del puerto serie COM1 se dispone de tres alternativas (véase por ejemplo la referencia [9], capítulo 5):

- 1.- Uso de las funciones que ofrece el kernel del sistema operativo MS-DOS. A estas funciones se accede a través de la *Int 21h*, con las funciones *3Fh* y *40h* para leer y escribir respectivamente. La programación de velocidad, paridad, etc. se debe hacer previamente, desde la línea de comandos con una orden *MODE*.
- 2.- Uso de las funciones que ofrece la BIOS del PC. Se accede a ellas a través de la *Int 14h*. Permite la programación de las características (función 0h), la lectura de datos (función 02h), la escritura de datos (función 01h) y solicitar el status del puerto (función 03h). Esta opción permite independizar la programación de la plataforma *hardware*.
- 3.- Acceder directamente a los registros de E/S del controlador de comunicaciones asíncrono -UART- (INS8250, *National Semiconductor* ó equivalente) del PC.

Dado que la velocidad efectiva de comunicación será baja (1 ó 2 caracteres/segundo), se podría utilizar cualquiera de estas tres alternativas. En un caso general, para transmisiones a más de 1200 baudios sin tiempos muertos entre caracteres, se debería usar la tercera solución.

Por otro lado, IBM y los fabricantes de compatibles con el IBM PC, se han comprometido a mantener el hardware de comunicaciones asíncronas y el de interrupciones en todas las versiones de ordenadores con arquitectura ISA.

En esta práctica, en la que se utilizan las líneas *RTS* y *DTR* del conector del puerto serie del PC para alimentar los optoacopladores utilizados para la conexión del sistema de medida al PC, se deben garantizar los niveles de estas líneas (nivel alto y nivel bajo respectivamente) mediante el acceso al registro de la UART correspondiente a las características de la transmisión. Se sugiere, por tanto, usar la segunda alternativa para la programación de las características del puerto (véase *Manual de referencia de la ROM BIOS del IBM PC* en el Anexo “Especificaciones de componentes”) y la tercera alternativa para la lectura y escritura en el puerto serie.

¿Cómo se puede generar una interrupción software desde Turbo-C?. ¿Cuál de las funciones que lo permiten deberá usarse?

[EP-8.1]

¿Qué funciones de las librerías de Turbo-C permiten acceder a los puertos de E/S?

[EP-8.2]

El controlador de comunicaciones asíncrono (UART) utiliza 7 direcciones consecutivas en la zona de E/S del PC, a partir de una dirección base, que denominaremos *basereg*. La estructura de registros de la UART 8250 es la siguiente (véanse las especificaciones de la UART 82C50A en el Anexo “Especificaciones de Componentes”) :

<i>basereg:</i>	<i>Datos (de lectura o escritura)</i>
<i>basereg+1:</i>	<i>Condiciones de interrupción (escritura)</i>
<i>basereg+2:</i>	<i>Identificación de la interrupción (lectura)</i>
<i>basereg+3:</i>	<i>Formato de los datos (escritura)</i>
<i>basereg+4:</i>	<i>Control del protocolo serie (escritura)</i>
<i>basereg+5:</i>	<i>Registro de estado del protocolo serie (lectura)</i>
<i>basereg+6:</i>	<i>Registro de estado de la entrada (lectura)</i>

Dado que la programación inicial de las características de transmisión se realiza a través de una función de la ROM BIOS, sólo se requiere acceder a *basereg* para leer y escribir datos y a *basereg+5* para controlar la validez de los datos leídos. El significado de los bits de *basereg+5* es el siguiente (condición señalada si el bit está a 1):

<i>bit 0:</i>	<i>Dato recibido y listo</i>
<i>bit 1:</i>	<i>Error de "overrun"</i>
<i>bit 2:</i>	<i>Error de paridad</i>
<i>bit 3:</i>	<i>Error de trama</i>
<i>bit 4:</i>	<i>Se ha recibido un break</i>
<i>bit 5:</i>	<i>Registro intermedio de transmisión vacío</i>
<i>bit 6:</i>	<i>Registro de desplazamiento de transmisión vacío</i>
<i>bit 7:</i>	<i>No se usa</i>

¿Qué tipo de error se produce, de entre los anteriores, al volver a leer un dato del controlador de comunicaciones, después de un cierto tiempo sin efectuar lecturas?

[EP-8.3]

La dirección base de cada controlador es una característica del *hardware*. Todos los PCs tienen (o debieran tener) la misma dirección. No obstante, para independizar las aplicaciones del *hardware* concreto, el sistema operativo MS-DOS mantiene una tabla en memoria RAM, a partir de la dirección 0000:0400, en la que se almacena la dirección I/O de cada controlador asíncrono (2 bytes). Averiguar cuál es la dirección base del controlador asíncrono asociado al puerto COM1. (Lectura sugerida: referencia [6]).

[EP-8.4]

Una vez leído el dato del controlador asíncrono, éste deberá presentarse por pantalla. Al igual que para el acceso al puerto de comunicaciones, puede hacerse uso de funciones del lenguaje C, funciones de MS-DOS, de BIOS o trabajar con los registros del controlador de vídeo.

¿ Qué funciones de Turbo-C permiten presentar datos en la pantalla? Al decidir usar una en concreto, explique las ventajas e inconvenientes respecto a las restantes.

- Funciones de presentación:

[EP-8.5]

- Ventajas:

[EP-8.6]

- Inconvenientes:

[EP-8.7]

Para la realización de los programas se dispone de un compilador de lenguaje C, Turbo-C v. 2.0 de Borland. También se dispondrá de un ensamblador y un depurador del mismo fabricante, por si alguien desea utilizarlos.

En el laboratorio se dispone de unas copias del Manual de Referencia de Turbo-C, en el que aparecen las funciones disponibles, y del Manual de Uso de Turbo-C, en el que se explica el funcionamiento del compilador y el entorno de ventanas. Para iniciarse en la programación en C pueden ser útiles las referencias [7] y [8]. El compilador de C utilizado en el entorno de ventanas arranca con unas opciones de compilación, etc. prefijadas. Es conveniente no modificar esas opciones.

EL ALUMNO DEBERÁ DISPONER DE COMO MÍNIMO UN DISQUETTE PARA ALMACENAR LOS PROGRAMAS REALIZADOS.

El lenguaje C, al igual que el lenguaje *Pascal*, entre otros, es un lenguaje basado en funciones (procedimientos). Como estilo de programación, es conveniente realizar las operaciones desglosándolas en funciones que son invocadas desde el programa principal. Estas funciones pueden o no estar en el mismo módulo que el programa principal. Es aconsejable, para empezar, que todas las funciones estén en el mismo módulo. Más adelante, si el tamaño del programa lo aconseja, se pueden dividir en módulos.

Teniendo en consideración la información previa, se pide:

Introdúzcase el programa de lectura de datos que aparece en la siguiente página en el ordenador, compilándolo y ejecutándolo. Describase brevemente la estructura del programa, identificando el uso las diferentes alternativas de programación indicadas al comienzo de la sesión.

[R-8.1]

Conéctese la placa de adquisición y compruébese que al variar la frecuencia del oscilador auxiliar varían los dígitos leídos por el ordenador que aparecen en la pantalla. Aplíquense, razonadamente, las condiciones *hardware* y/o *software* que permitan verificar la correcta operación del procedimiento de detección de errores. ¿Cuáles son los valores máximo y mínimo del dato recibido?

[R-8.2]

Por último, se pide **mejorar la presentación de datos** en pantalla de forma que sea más cómoda la interpretación de los datos leídos, representando en una posición fija en pantalla la información en formato *r/min*.

Programa de lectura de datos:

```
#include <conio.h>
#include <dos.h>

#define comlbase 0x3F8

union REGS inregs, outregs;
unsigned char dat, sta;

void test_error(unsigned char sta)      /*test de los errores de
                                       comunicación*/
{
    if ((sta & 0x02)==0x02) cprintf("  --> Overrun error");
    if ((sta & 0x04)==0x04) cprintf("  --> Parity error");
    if ((sta & 0x08)==0x08) cprintf("  --> Framing error");
    if ((sta & 0x10)==0x10) cprintf("  --> Received break");
}

void main()
{
    /****** programación puerto serie *****/
    inregs.h.ah=0x0;
    inregs.h.al=0x83; /*velocidad 1200, 8 bits, 1 stop bit, no paridad*/
    inregs.x.dx=0x0;   /* com1 */
    int86(0x14, &inregs, &outregs);
    outportb(comlbase+4, 0x02); /*coloca DTR a -12 V (activo) i RTS a
                                +12 V para alimentar */
    for(;;!kbhit();) /* es equivalente a la sentencia while(!kbhit) */
    {
        sta=inportb(comlbase+5);
        if ((sta & 0x01)==0x01)
        {
            dat=inportb(comlbase);
            cprintf("%X", dat);
            test_error(sta);
            cprintf("\r\n");
        }
        else
        {
            cprintf("--");
            test_error(sta);
            cprintf("\r");
        }
    }
}
```

SESIÓN 9: ANÁLISIS DEL CIRCUITO DE RECEPCIÓN DEL PC

En esta última sesión, dedicada a aspectos de *hardware* del sistema, se realizará un proceso de análisis e ingeniería inversa sobre el subcircuito de recepción de datos y actuación del motor incluido en la placa suministrada (ver los esquemas y la documentación de la misma al final de este manual). La parte analizada de la placa es la referida a la rama de actuación del diagrama de bloques de la sesión 1, página 7. Dicho subcircuito se encarga de validar la trama serie recibida, de realizar tanto la conversión paralelo-serie como la conversión del dominio digital al analógico para, finalmente, realizar una adecuación del nivel de potencia de la señal en tensión aplicada al motor.

La señal de entrada a la placa y transmitida por el PC se obtiene del fototransistor del optoacoplador que proporciona el aislamiento entre PC y placa y que también está incluido en el conector del cable. Este fototransistor tiene tanto el colector como el emisor en circuito abierto por lo que el colector se conecta a la tensión de alimentación positiva, y la salida se toma en bornes de una resistencia de 2,2 k Ω dispuesta entre emisor y masa. Finalmente, para mantener los niveles lógicos entre los dos extremos de la comunicación debe realizarse una inversión de la señal de salida del optoacoplador. ¿Qué circuito integrado realiza esta misión?

[EP-9.1]

Respecto a la siguiente funcionalidad incluida en la placa, **la verificación de la trama serie recibida**, se recomienda la lectura de la referencia [2] apartado 6.3. Observemos que, para que la comunicación serie sea correcta, hace falta al menos que se reciban un bit de “start”, el byte de datos y el bit de “stop”. Para evitar los posibles errores por transitorios o espúreos de línea, se puede hacer una doble comprobación de la señal de “start”: por una parte verificando que se trata de un flanco descendente, y por otra, comprobando que su duración es igual a la de un bit (de acuerdo con la velocidad de comunicación acordada).

Para extraer la información de la anterior trama, así como la detección de un posible error de línea (*glitch* de ruido) el receptor debe incorporar una circuito secuencial (máquina de estados finitos) que considere al menos tres estados: Inicialización, Espera y Recepción. Al estado de “Inicialización” hay que acceder cuando se conecta la alimentación del sistema o después de una señal de inicialización (*Reset*), si se desea incluirla. De este estado se debe pasar al de “Espera”, mientras que cuando se detecte la presencia de un flanco descendente (bit de “start”), debe accederse al estado de “Recepción”.

Al entrar en el estado de recepción se verifica en primer lugar que el flanco descendente corresponde efectivamente un bit de “start” y no un transitorio. Para ello se puede comprobar por ejemplo la duración del nivel de tensión bajo. Si el bit de “start” se da por válido, el paso del estado de “Recepción” al de “Espera” se debe producir cuando se hayan recibido todos los bits de datos, y el de paridad en su caso. En el diseño actual, basta comprobar que han llegado los 8 bits de datos, por ejemplo realizando un contado de los mismos.

Si la recepción ha sido correcta, la palabra digital serie recibida debe pasarse a la siguiente etapa. Dado que la información recibida es digital y se pretende regular la velocidad del motor mediante una tensión continua, hace falta un convertidor digital-analógico. Como éstos aceptan en general sólo entradas paralelo, hay que llevar a cabo previamente una conversión de formato de serie a paralelo.

¿Cuál es la frecuencia de reloj del receptor que permite realizar las funciones descritas?

$$f = \quad \quad \quad [\text{EP-9.2}]$$

¿Qué circuitos integrados realizan el control de la recepción, (incluida la verificación de la trama recibida)? Empléese la notación U_{xx} utilizada en los esquemas de la placa.

[EP-9.3]

Respecto al circuito de **conversión serie-paralelo**, recordemos que el método convencional para hacer la conversión de formato serie-paralelo se basa en un registro de desplazamiento, habiéndose considerado en este caso uno de tipo CD4015. ¿Qué circuitos integrados realizan la conversión serie-paralelo?

[EP-9.4]

El siguiente paso, una vez obtenido el *byte* en formato paralelo, es convertirlo a una tensión analógica mediante una **conversión digital-analógica**. En esta práctica el convertidor digital-analógico TLC7524 de Texas Instruments realiza esta función (ver sus características en el Anexo “Especificaciones de componentes”). Los convertidores D/A pueden disponer o no de cerrojo (*latch*) de entrada. En los modelos como el TLC7524, que no disponen de cerrojo, su salida refleja directamente el valor de la entrada en cada momento. Por tanto, en aplicaciones como la que nos ocupa, se requiere de un cerrojo externo que bloquee la palabra paralelo obtenida y que constituye la orden de control. La transferencia desde el cerrojo externo al convertidor D/A sólo debe realizarse después de haber verificado que la recepción ha sido correcta, es decir, cuando se ha recibido un *byte* completo. ¿Cuál es la señal de control que realiza esta función?

[EP-9.5]

El convertidor D/A elegido es uno de bajo coste y 8 bits, que acepta alimentación simple (0, V_a). Su resolución en la tensión de salida limita el grado de aproximación entre la velocidad real y la consigna, por cuanto no se podrá aplicar el valor exacto de la tensión de control deseada. ¿Cuál es la resolución de la tensión de salida del convertidor para una tensión de alimentación de 12 V?

[EP-9.6]

Calcular cuál es la máxima diferencia teórica entre la velocidad deseada (consigna) y la velocidad real, debida a la resolución del convertidor D/A utilizado, razonando sobre su adecuación al sistema de prácticas. Para ello considerar la relación entre la tensión aplicada al motor y la velocidad de giro del motor en vacío obtenida en la sesión 4.

$$e = \quad \quad \quad [\text{r/min}] \quad \quad \quad [\text{EP-9.7}]$$

En cuanto a aspectos de seguridad de operación se refiere, ¿cuáles son la máxima tensión de alimentación y la máxima tensión de referencia aceptadas por el convertidor D/A utilizado?

$$V_{\text{alim}} = \quad \quad \quad [\text{EP-9.8}]$$

$$V_{\text{ref}} = \quad \quad \quad [\text{EP-9.9}]$$

La salida habitual de los convertidores D/A es en forma de corriente, de manera que se requiere una conversión corriente-tensión para poder obtener una señal de tensión de salida. Algunos convertidores, sin embargo, permiten intercambiar las funciones de la entrada de referencia y de la salida, de manera que se obtiene una tensión de salida en la "entrada" de referencia cuando se aplica una tensión de entrada a la "salida" de corriente. Se dice entonces que funcionan en "modo tensión" (Véase la información respecto a este modo de funcionamiento en las especificaciones del TLC7524 en el Anexo "Especificaciones de Componentes"). ¿Cuál es la expresión de la tensión de salida en función del código de entrada y la tensión de alimentación del convertidor para este modo?

$$V_o = \quad \quad \quad \text{[EP-9.10]}$$

El circuito propuesto, representado en el esquema, incluye ya la **etapa de potencia**. Para justificar esta última etapa, observemos que el nivel de tensión de salida del convertidor D/A requiere un incremento del nivel de corriente asociado para adecuarse a los requerimientos de potencia del motor de continua. Con dicho fin, la etapa de potencia necesaria considera el regulador de tensión LM317. Para mayor simplicidad, en lugar de emplear el circuito de la cuestión [EP-2.16], en la placa disponible se emplea el convertidor D/A en *modo de tensión* y se aprovecha que el regulador impone una tensión de salida que depende linealmente de la tensión de su terminal de ajuste. Con esta configuración, el regulador actúa como seguidor de tensión (*buffer*), incrementando el nivel de corriente, y, por tanto, de potencia. Por tanto, se conecta el terminal de salida *ref* del convertidor al terminal de ajuste del regulador y a una resistencia para tener el margen de regulación de velocidad deseado. Esto permite aprovechar las protecciones incorporadas en el regulador.

¿Cuál es la relación entre la tensión de salida del convertidor D/A, que depende del código enviado desde el PC, y la tensión aplicada al motor? Debe tenerse en cuenta el efecto de carga producido sobre la resistencia de salida del convertidor en su terminal *ref*.

[EP-9.11]

El trabajo de laboratorio incluye el comprobar el correcto funcionamiento de los subcircuitos de recepción, la conversión digital-analógica y la etapa de salida de actuación sobre el motor.

Conéctese el circuito realizando un puente entre las señales *Tr* y *Re* del conector CON2 (SIN CONECTAR EL CABLE AL PC). De esta forma la trama que se envía al PC a través de *Tr* es la misma que se recibe en *Re* (como si fuera enviada por el PC), por lo que al variar la frecuencia del oscilador auxiliar de prueba, variará la información recibida en el conversor D/A y, por tanto, la velocidad del motor conectado a CON3.

Medir con el osciloscopio en los terminales de prueba disponibles en el circuito impreso comprobando el buen funcionamiento de la parte de recepción y de excitación del motor de la placa.

Dibujar el cronograma del circuito receptor cuando se reciba un dato enviado por el PC, que incluya cuando menos las señales: *OSC*, *RD*, *Rc*, *Q1*, *Q2*, *Q3*, *Q4*, *Q5*, *Q6*, *QA*, \overline{WR} . Este cronograma también puede realizarse a partir del seguimiento de las señales en el esquema, comprobando cada una de ellas midiéndolas posteriormente. (Utilícese papel milimetrado).

[R-9.1]

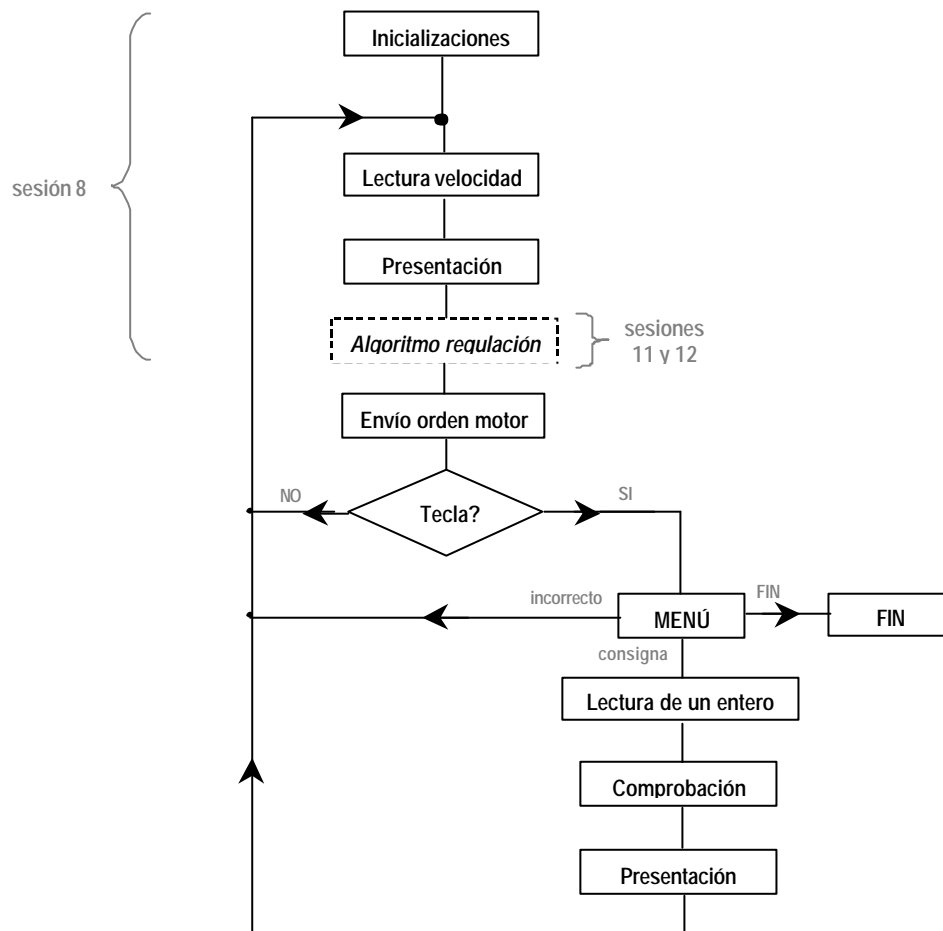
Por último, se pide caracterizar la cadena completa de recepción, obteniendo experimentalmente la característica de transferencia estática entre el código digital enviado desde el PC y la tensión de salida aplicada al motor. Para ello se recomienda generar los diferentes códigos mediante el oscilador de prueba.

[R-9.2]

SESIÓN 10: PROGRAMA DE ESCRITURA DE DATOS

En la presente sesión, retomando el programa de la lectura de datos de la sesión 8, se realiza la programación necesaria para que el sistema acepte consignas de velocidad [r/min] del usuario por el teclado y envíe dicha información, vía el circuito de recepción, hacia el motor. En dichas condiciones el sistema opera en condiciones definitivas, es decir, el sistema estará completo exceptuando el algoritmo de regulación, operando por tanto en lazo abierto.

Para la entrada de datos por teclado, Turbo-C ofrece funciones de alto y bajo nivel. En una realización profesional, sería deseable que mientras el ordenador lee velocidades del puerto serie pudiera también leer el teclado. Esto, no obstante, implicaría trabajar por interrupciones y manejar el teclado a bajo nivel. Se sugiere aquí una solución más simple basada en el siguiente algoritmo por *polling*:



Observemos que la estructura propuesta parte del lazo de lectura de velocidad correspondiente a la sesión 8, del que se sale mediante la detección de tecla pulsada. Ante dicho evento, el programa debe entrar en un menú (que en futuras ampliaciones debe facilitar la extensión de la estructura) que permita abandonar la aplicación, o leer una consigna del usuario por teclado.

¿Cómo puede detectarse si ha habido una pulsación de una tecla sin interrumpir el programa?

Función:

[EP-10.1]

De las diversas funciones que permiten leer datos del teclado, ¿cuál es la más conveniente en este caso? ¿Por qué?

- Función lectura de teclado:

[EP-10.2]

- Ventaja:

[EP-10.3]

En la parte experimental se pide, completando el código de la sesión 8, **escribir, compilar y ejecutar** un programa que permita la introducción de una consigna de velocidad por teclado y la envíe, a través de puerto serie y la placa de adquisición, al motor, según establece el algoritmo presentado en la figura anterior. Nótese que la variable correspondiente al dato enviado por el puerto tiene una longitud de un *byte*.

El programa anterior debe realizar la presentación simultánea de la velocidad real del motor leída a través del puerto serie.

[R-10.1]

Comprobar el buen funcionamiento del programa midiendo la velocidad del motor a través del osciloscopio (señal del sensor a la salida del comparador con histéresis), observando asimismo con el osciloscopio la trama de datos enviada por el PC. Comprobar también estas lecturas con la velocidad real del motor.

PARTE 4. Algoritmo de Regulación e Interfaz Hombre-Ordenador

SESIONES 11 Y 12

ALGORITMO DE REGULACION PRUEBAS DE REGULACIÓN

Si bien en la sesión anterior el sistema de control de velocidad de giro del motor de continua está completo desde la perspectiva de los subsistemas de circuitería de procesado, comunicación y programación del interfaz, el sistema opera en lazo abierto (recuérdese la discrepancia entre la velocidad real y la velocidad consignada de la sesión anterior), de modo que debe implementarse mediante programación un algoritmo de regulación. Nótese que dicha regulación es estrictamente necesaria para que el sistema alcance la velocidad consignada por el usuario, dado que, por una parte, existen inexactitudes en la cadena de actuación (convertidor, amplificador de potencia), así como la eventual aparición de cargas variantes en el tiempo (como pueda ser la conexión/desconexión de un segundo motor de carga).

Como corresponde a un sistema de control con realimentación negativa, que tiende a seguir la consigna y rechazar las perturbaciones, una vez leída la consigna del teclado y la velocidad real, si éstas no son iguales dentro de un margen de error preestablecido, debe enviarse por el puerto serie un dato corregido. El sistema debe poder por tanto alcanzar la velocidad deseada tanto si el motor está en vacío como si está en carga (dentro de las posibilidades del motor), y debe adaptarse por sí solo a los cambios de carga.

Para realizar el algoritmo de control habrá que tener en cuenta que el tiempo de respuesta del motor no es instantáneo, y por tanto habrá que esperar un cierto tiempo (2 ó 3 ciclos de lectura de velocidad) hasta emprender una nueva acción, evitando así una estabilidad del lazo realimentado debido al retardo en la cadena de medida, que se manifiesta como una oscilación. Este hecho deberá contemplarse en el programa de regulación.

A continuación se describen dos opciones, de menor a mayor complejidad, para la implementación del algoritmo de control.

- 1.- Cuando la diferencia entre la velocidad real y la deseada exceda de un cierto límite, se incrementa o decrementa paso a paso el dato de control de salida hasta que la diferencia esté dentro del límite prefijado.
- 2.- Como en el primer caso, pero utilizando un incremento variable proporcional a la diferencia entre la velocidad leída y la deseada.

Se recomienda elegir primero la alternativa 1, y una vez familiarizados con el sistema, plantearse la alternativa 2 u otra alternativa de complejidad análoga.

Realizar el programa correspondiente, conectar el ordenador a la placa de adquisición y **comprobar la correcta regulación** de la velocidad del motor.

[R-11.1]

Tras conseguir la correcta operación del sistema completo de regulación, en esta última sesión se analizan las necesidades del interfaz hombre-máquina en un sistema de este tipo.

Para ello, es conveniente ponerse en la situación de un operario no acostumbrado a utilizar un ordenador y que debe controlar mediante este sistema el motor de una máquina herramienta que, descontrolada, puede ser peligrosa para las personas que estén cerca.

La pantalla del PC servirá para suministrar al usuario toda la información sobre el funcionamiento del sistema mientras que el teclado va a permitirle dar las órdenes oportunas. Se pide detallar cuál es el menú necesario para que actúe sobre el sistema y cuáles son las indicaciones, mensajes, alarmas, accionamientos, etc. que deberá proporcionar en pantalla el *software* de control, para conseguir una utilización cómoda del mismo.

[EP-13.1]

Implementar, a partir de las especificaciones generadas en el anterior estudio previo, la pantalla del sistema que implemente el menú del usuario, facilite la información sobre el funcionamiento del sistema (velocidad actual del motor y consigna dada por el usuario) los **mensajes de alarma, indicaciones**, etc. ampliando el programa de regulación desarrollado en la sesión anterior.

Asimismo debe implementarse una protección frente a una posible **sobrecarga del motor**. La sobrecarga del motor se produce cuando la carga aplicada al mismo es mayor a la que realmente puede hacer girar. En definitiva, esto se traduce en un aumento de la corriente que circula por el motor y por tanto en un riesgo para el mismo. En caso de producirse la sobrecarga deberá aparecer un mensaje de error sobre pantalla y deberá pararse el motor hasta una nueva consigna.

Se pide entregar un **listado del programa final completo** comentado brevemente al lado de las líneas de código.

[R-13.1]

De forma muy resumida, **realizar un manual de usuario** para la utilización del programa del sistema de control. Ha de tenerse en cuenta que esta será la información de la que dispondrá un usuario, que no conoce nada del desarrollo del sistema, para poder utilizarlo. Por tanto, en el manual habría de aparecer como mínimo, una descripción del sistema, las conexiones a realizar entre los componentes del mismo, las instrucciones de uso, los errores que puedan aparecer con las acciones a tomar en cada caso y las especificaciones a nivel de sistema.

[R-13.2]

The circuit diagram illustrates a 4-bit ripple-carry adder. It features two 4-bit binary inputs, A and B, which are connected to two 4015 decoders (U13B and U13A). The outputs of these decoders are connected to a network of 4001 NAND gates (U10A, U10B, U10C, U10D, U11A, U11B, U11C, U11D) to perform the addition. The sum outputs are connected to a 4-bit display (U16) via a 10k resistor (R24). The carry output is connected to a 4015 decoder (U12C) which drives a 7-segment display (U12A) to show the carry bit. The circuit is powered by a 5V supply (VCC) and ground (GND), with decoupling capacitors (C13, C14) and a 10k resistor (R21) for stability.

Figura 5.- Disposición de los componentes en la placa de circuito impreso.

