

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID



ESCUELA UNIVERSITARIA
DE INGENIERIA TECNICA INDUSTRIAL
DE MADRID

***DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA,
AUTOMÁTICA E INFORMÁTICA
INDUSTRIAL***

Prácticas de Servosistemas

Práctica 6

Modelado de una célula de Peltier

6

MODELADO DE UNA CÉLULA PELTIER.....3

6.1	EL COMPORTAMIENTO DE LAS CÉLULAS PELTIER.....	4
6.1.1	ECUACIONES DE LA CÉLULA PELTIER.....	4
6.1.2	MODELADO DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO	6
6.1.3	MODELO SIMPLIFICADO.....	7
6.2	SOPORTE FÍSICO PARA EL CONTROL DE LA PELTIER.....	9
6.2.1	ETAPA DE POTENCIA	9
6.2.2	ETAPA DE ACONDICIONAMIENTO	10
6.2.3	OBSERVADOR	10
6.2.4	ETAPA DE AISLAMIENTO.....	11
6.2.5	TARJETA DE INTERCONEXIÓN.....	12
6.3	FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA DEL CONJUNTO.....	13
6.4	CUESTIONES TEÓRICAS	14
6.5	CUESTIONES PRÁCTICAS	14
6.5.1	CALIBRACIÓN DEL EQUIPO	14
6.5.2	CÁLCULO DE LAS GANANCIAS ESTÁTICAS DEL SISTEMA.....	17
6.5.3	CÁLCULO DE LA CONSTANTE DE TIEMPO DE LA CÉLULA PELTIER	18
6.5.4	DETERMINAR LA FDT SIMPLIFICADA DEL EQUIPO.....	20



6

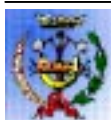
Modelado de una célula Peltier

Las células Peltier son unos dispositivos termoeléctricos que se caracterizan por la aparición de una diferencia de temperatura entre las dos caras de un semiconductor cuando por él circula una corriente.

Ésta es una alternativa a la clásica refrigeración mediante compresión de vapores con cambio de fase, en la que se establece un determinado ciclo para un gas que es comprimido para su posterior expansión, con la correspondiente absorción de calor. Como consecuencia en todo circuito frigorífico se requiere de un condensador, evaporador, circuito de expansión y refrigerantes.

La refrigeración termoeléctrica supone una alternativa a los sistemas utilizados habitualmente. Los principales fenómenos físicos que intervienen son los efectos: Seebeck, Peltier, Thomson y Joule.

La práctica presente se centra en el modelado de los diferentes elementos necesarios para la instalación en lazo abierto de una célula Peltier.



6.1 EL COMPORTAMIENTO DE LAS CÉLULAS PELTIER

Si bien el efecto Peltier es conocido desde 1834, su aplicación práctica necesitó del desarrollo de los semiconductores, pues éstos resultan ser buenos conductores de la electricidad pero pobres conductores del calor. La circulación de una corriente eléctrica a través de dos materiales semiconductores con diferente densidad de electrones libres, produce que se libere o se absorba energía. La transferencia de energía tiene lugar en forma de flujo calorífico entre las dos caras de los semiconductores (ver figura 6.1).

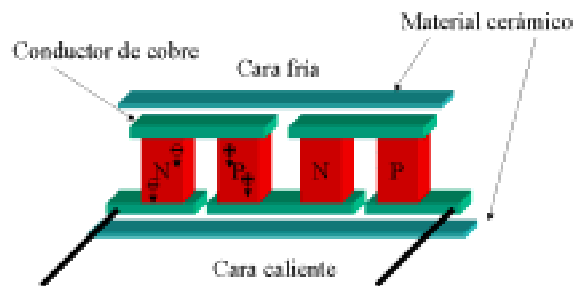


Figura 6. 1 Elementos de una célula Peltier

El enfriamiento termoeléctrico empezó a ser factible a partir de los estudios de Telkes en los años 30 y de Lofee en 1956. Los nuevos materiales semiconductores irrumpían en la escena produciendo rendimientos mucho más altos. Telkes utilizó pares o soldaduras de PbS y ZnSb y Loffee descubrió el uso de PbTe y PbSe. Actualmente, se emplea fundamentalmente el bismuto-teluro como material semiconductor, fuertemente dopado para crear un exceso (tipo-n) o una deficiencia (tipo-p) de electrones.

6.1.1 Ecuaciones de la célula Peltier

Son varios los fenómenos que acontecen dentro de una célula Peltier, pudiéndose enunciar los efectos Peltier, Thomson y Joule, además de las propias características de la transmisión de calor. Sin embargo, dichos procesos no son todos de igual magnitud e importancia. De hecho, en el rango de temperaturas de los experimentos a realizar, se puede despreciar el flujo calorífico producido por la circulación de la corriente eléctrica con variación de temperatura, esto es, el denominado efecto Thomson. Así que, teniendo en cuenta esta simplificación, al aplicar una diferencia de potencial sobre la célula, se producirá una cesión de calor por unidad de tiempo en la cara caliente igual a:

$$Q_{PC} = \alpha T_C I \quad (6. 1)$$

Donde T_C es la temperatura de la cara caliente, α es el coeficiente Seebeck e I la corriente que atraviesa al circuito. Por el mismo efecto, la absorción de calor por unidad de tiempo en la cara fría será:



$$Q_{PF} = \alpha T_F I \quad (6.2)$$

Siendo T_F la temperatura de la cara fría. De otro lado, si se consideran las pérdidas por unidad de tiempo por efecto Joule, las cuales se supone que se reparten mitad para cada cara, éstas quedarán expresadas por:

$$Q_J = \frac{1}{2} I^2 R \quad (6.3)$$

Donde R es la resistencia eléctrica de la célula Peltier. La diferencia de temperaturas entre ambas caras producirá un efecto de conducción térmica entre la cara caliente y la cara fría, cuantificable como:

$$Q_{CT} = \frac{T_C - T_F}{R_{TH}} \quad (6.4)$$

En donde R_{TH} representa la resistencia térmica entre la cara caliente y la fría. El flujo neto calorífico absorbido por la cara fría, será haciendo el balance energético a:

$$Q_F = Q_{PF} - Q_J - Q_{CT} = \alpha T_F I - \frac{1}{2} I^2 R - \frac{T_C - T_F}{R_{TH}} \quad (6.5)$$

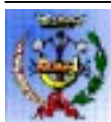
Mientras que el calor cedido y que debe ser disipado a través de la cara caliente será igual a:

$$Q_C = Q_{PC} + Q_J - Q_{CT} = \alpha T_C I + \frac{1}{2} I^2 R - \frac{T_C - T_F}{R_{TH}} \quad (6.6)$$

Aplicando el primer principio de la Termodinámica, resultará que la potencia eléctrica suministrada será la diferencia entre los flujos caloríficos de disipación y de absorción, concluyendo que:

$$P_e = Q_C - Q_F = \alpha(T_C - T_F)I + I^2 R = \alpha \Delta T I + I^2 R \quad (6.7)$$

Si se considera despreciable el efecto Thomson y considerando sólo los valores medios de las propiedades de transporte del calor. El coeficiente de Seebeck, la resistividad eléctrica y la conductividad térmica varían con la temperatura. Se ha verificado que para el rango de temperaturas de las prácticas, éstos pueden ser considerados constantes. Además, el fabricante de las células empleadas, MELCOR, también emplea expresiones similares.



6.1.2 Modelado del comportamiento dinámico

Un análisis exhaustivo del fenómeno termoeléctrico en las células Peltier resulta bastante difícil de conseguir, incluso para problemas reducidos del régimen dinámico en los que se requiere distintas presunciones, tales como las propiedades promedio de los módulos. Con este fin, se va a proceder a buscar un símil térmico eléctrico que facilite la comprensión del modelo y sus simplificaciones. La figura 6.2 esquematiza las ecuaciones 6.5 y 6.6, reflejando los efectos Peltier y Joule junto con los de la transmisión de calor. Obsérvese que la referencia a masa indica el punto de reposo de la temperatura en ambas caras, esto es, la temperatura ambiente.

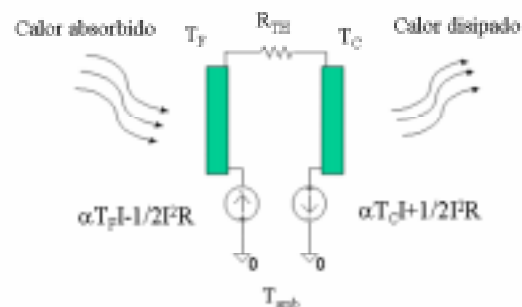


Figura 6. 2 Símil térmico-eléctrico equivalente

Por otra parte, los flujos caloríficos absorbidos por la cara fría y los disipados por la cara caliente, pueden ser modelados como capacidades caloríficas, las cuales reflejarán las inercias térmicas de ambas caras (ver figura 6.3). Sin duda alguna, la inserción de un disipador adosado a la cara caliente de la célula, con alta conductividad térmica, y al que se le ha añadido, además, un circuito de convección forzada, garantizará que la temperatura de la cara caliente, T_C , se mantenga prácticamente constante y próxima a la temperatura ambiente. El circuito de disipación térmica adosado a la Peltier quedará modelado por una gran capacidad calorífica. Se ha cuantificado las capacidades térmicas equivalentes C_C y C_F ; siendo C_C mayor en más de dos órdenes de magnitud respecto de C_F .

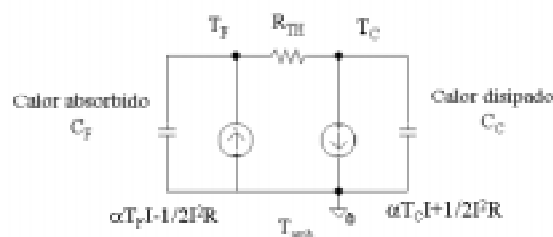


Figura 6. 3 Circuito térmico-eléctrico equivalente

En estas condiciones, el equivalente Norton entre las dos caras se reducirá a una capacidad térmica de valor C_F en paralelo con una fuente de flujo calorífico de valor

$\alpha T_C I + 1/2 I^2 R$, o bien aplicando la ec. 6.7, $P_e + \alpha T_F I - 1/2 I^2 R$; el circuito térmico quedará como:

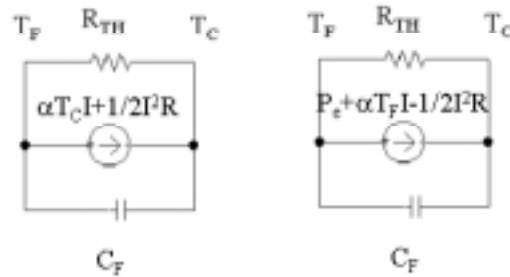


Figura 6. 4 Circuitos equivalente simplificados

Cuyas expresiones matemáticas quedarán definidas por:

$$C_F \frac{d\Delta T}{dt} + \frac{\Delta T}{R_{TH}} \cong \alpha T_C I + \frac{1}{2} I^2 R = P_e + \alpha T_F I - \frac{1}{2} I^2 R$$

$$P_e = \alpha \Delta T I + I^2 R \quad (6.8)$$

6.1.3 Modelo simplificado

Partiendo de la ec. 6.8 y considerando que la temperatura de la cara caliente se mantiene prácticamente constante (gracias al diseño de disipación de calor aplicado a esta cara), y que el efecto Joule es de segundo orden respecto al efecto Peltier, se puede concluir que la variación de temperatura es proporcional a la intensidad que circula por la célula. El coeficiente Seebeck se mantiene prácticamente constante en todo el rango de temperatura de los experimentos. La validación de la propuesta queda reflejada en la figura 6.5, al compararse la respuesta en régimen permanente con la del modelo propuesto.



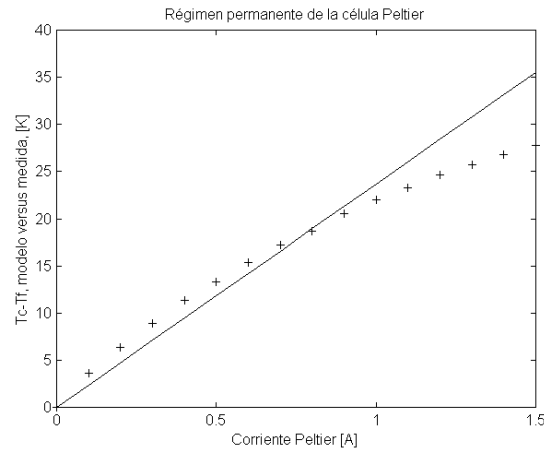


Figura 6. 5 Relación entre la corriente eléctrica y la diferencia de temperaturas entre las dos caras

La FDT simplificada se puede exponer como:

$$\frac{\Delta T(s)}{I(s)} = \frac{[\alpha T_C] R_{TH}}{(1 + R_{TH} C_F s)} \quad (6. 9)$$

De estas reflexiones se deduce que el mejor control sobre una célula Peltier viene dado por el empleo de un amplificador de transconductancia. Para el prototipo desarrollado, con objeto de trabajar en la zona más lineal y exigir los mínimos requisitos a la fuente de alimentación del equipo, se ha diseñado una etapa de potencia lineal con entrada de 0÷10V y capaz de suministrar hasta un amperio a la célula. En definitiva, esta etapa de potencia tiene una ganancia de 100 mS.

De otro lado, al considerar que la temperatura en la cara caliente es prácticamente constante e igual a la temperatura del ambiente, sólo se ha construido una etapa de acondicionamiento capaz de medir la variación de temperatura en la cara fría. La señal de salida de esta tarjeta es proporcional a la diferencia de temperatura entre ambas caras, al ser introducidos dos potenciómetros de ajuste. El primero se utiliza para la calibración de la temperatura ambiente y el segundo para definir la ganancia de temperatura mínima con la máxima tensión de salida, en este caso, 10V.



Figura 6. 6 Célula Peltier con equipo de refrigeración

6.2 Soporte físico para el control de la Peltier

Con el propósito de controlar la diferencia de temperaturas de una célula Peltier se han construido cuatro etapas distintas: etapa de potencia, tarjeta de acondicionamiento de la temperatura, observador de la potencia eléctrica dada a la Peltier y etapa de aislamiento galvánico. Sus características son seguidamente comentadas.

6.2.1 Etapa de potencia

La potencia calorífica extraída a través de la cara fría de una célula Peltier es, para un determinado salto térmico, proporcional a la corriente que atraviesa la célula (ec. 6.8). Por este motivo, se ha considerado esta magnitud como la más conveniente para gobernarla. Para ello se ha desarrollado una etapa de potencia que se comporta como un amplificador de transconductancia de 100 mS.

Dicho amplificador es capaz de suministrar a la carga una corriente nominal de ± 1 A, aunque puede llegar hasta los 2 A. Para reducir las necesidades de material de laboratorio, la etapa se alimenta con una tensión única de 12 V. Por tratarse de una fuente de corriente, se haya protegida intrínsecamente frente a cortocircuitos. También está protegida contra el calentamiento excesivo de sus semiconductores.

La etapa se ha realizado con dos amplificadores operacionales de potencia L165, de SGS-Thomson, que constituyen el núcleo del amplificador lineal de transconductancia. Estos integrados pueden suministrar hasta 3 A de corriente de salida y se hayan protegidos frente a cortocircuitos y calentamientos excesivos. Los amplificadores están conectados en puente para permitir que la corriente fluya en cualquier sentido a pesar de la alimentación con tensión única.

El control de la etapa se ejerce por medio de una tensión entre ± 10 V aplicada entre el terminal de entrada y masa.

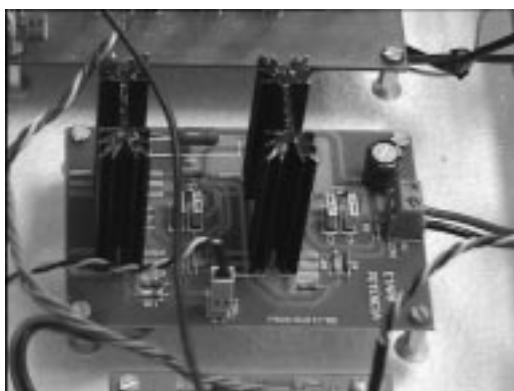
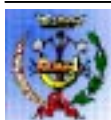


Figura 6. 7 Etapa de potencia transconductiva



6.2.2 Etapa de acondicionamiento

La temperatura de la cara fría de la célula Peltier se mide con la ayuda de un integrado LM35, de National Semiconductor, capaz de medir temperaturas desde -55°C hasta 150°C . La medida se obtiene a través de una salida de baja impedancia cuya tensión en milivoltios es igual a la temperatura en $^{\circ}\text{C}$ multiplicada por diez. La señal obtenida por el sensor pasa luego por los tres bloques que constituyen la etapa de acondicionamiento.

El primer bloque cumple las funciones de amplificador de error y filtro paso-bajo de 1^{er} orden. Por medio de una resistencia ajustable multivuelta, es posible aplicar una señal de referencia en un rango equivalente a $\pm 110^{\circ}\text{C}$. La salida del amplificador es de 100 mV/K y su frecuencia de corte es de 10 Hz . Se ha limitado la banda pasante para disminuir el nivel de ruido presente en la señal.

El segundo bloque es un amplificador de ganancia entre $\times 1$ y $\times 10$. A su salida puede obtenerse una señal de hasta 1 V/K .

El tercer bloque es un limitador. Posee dos rangos de salida que pueden seleccionarse con la ayuda de un puente situado sobre la tarjeta. El primer rango abarca $\pm 5\text{ V}$ y, el segundo, entre 0 V y 10 V .

Para la realización de la etapa se han empleado un amplificador operacional cuádruple LM324 y una referencia de precisión LM385-2.5, ambos de National Semiconductor, compensados en temperatura.

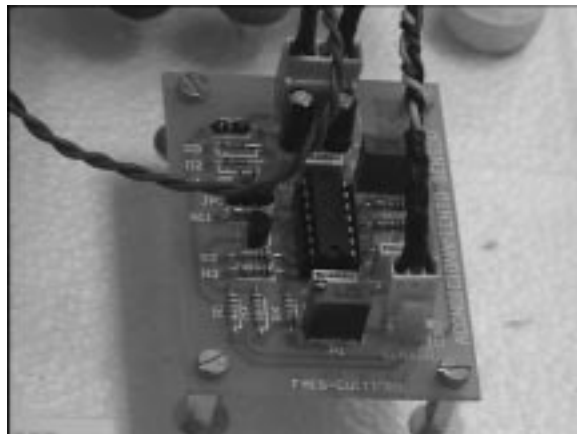


Figura 6. 8 Circuito de acondicionamiento de la señal

6.2.3 Observador

Para medir las variables de estado es necesario inferir el valor de estas variables a través de variables accesibles del sistema. En este caso, las variables accesibles son la diferencia de potencial entre los extremos de la célula Peltier y la corriente que la atraviesa. Dadas las características de la Etapa de Potencia, la Peltier es una carga flotante y es necesario el uso de etapas diferenciales para realizar la medida de estas magnitudes.

Tanto para la medida de la diferencia de potencial, como para la de la corriente, se ha empleado un diseño con un amplificador de instrumentación de precisión en la sección de entrada, un INA114 de Burr-Brown, y un amplificador operacional de precisión en la sección de salida, un OP-177 de Analog Devices. Esta configuración permite obtener el rango en modo común y la ganancia necesarios. La tensión se mide directamente en los terminales de la célula Peltier y la corriente, indirectamente, a través de un *shunt* de $100\text{ m}\Omega$ en serie con la célula. La ganancia de la sección de medida de tensión es de 2 V/V y la transresistencia de la sección de medida de la corriente es de 10 V/A .

La tarjeta del observador se conecta en serie entre la tarjeta de la etapa de potencia y la célula Peltier. Se alimenta con tensión simétrica de $\pm 12\text{ V}$.

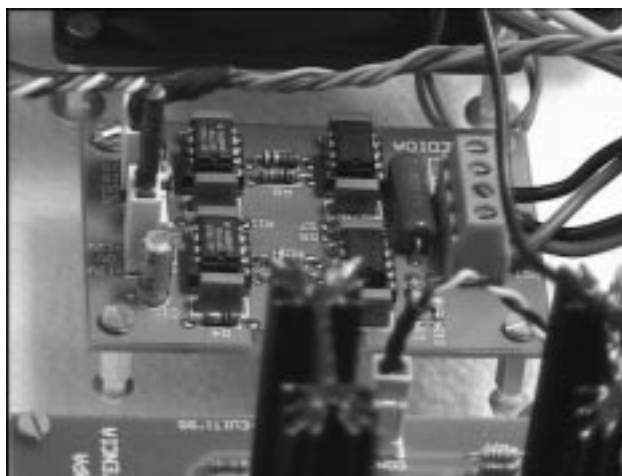


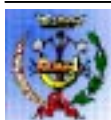
Figura 6. 9 Medidor de la tensión y corriente Peltier

6.2.4 Etapa de aislamiento

En este equipo, los elementos más caros son, también, los más delicados; esto es, la tarjeta de adquisición y el ordenador personal. Con el fin de protegerlos, se ha desarrollado una tarjeta que aísla galvánicamente estos elementos del resto del sistema. No es necesario conectar ninguna alimentación en el lado correspondiente al PC y la conexión con la tarjeta de adquisición se realiza por medio de un conector polarizado, con lo que se evitan los accidentes derivados de una conexión incorrecta.

El diseño se basa en un amplificador de aislamiento de Burr-Brown: el ISO124. Este integrado consta de dos secciones aisladas. En la sección de entrada se digitaliza la señal con una frecuencia de muestreo de 500 kHz . Desde allí se transmite digitalmente, a través de una barrera capacitiva de 2 pF , a la sección de salida, donde se le restituye su carácter analógico.

La alimentación en el lado del PC se ha resuelto con una fuente aislada NMH1215D, de Newport Components. Esta fuente genera las tensiones simétricas necesarias a partir de la tensión de alimentación positiva del lado de la Peltier.



La tarjeta de aislamiento consta de seis entradas y dos salidas; estas últimas pueden combinarse en una única salida a través de un circuito restador. Se alimenta con tensión simétrica de $\pm 12V$.

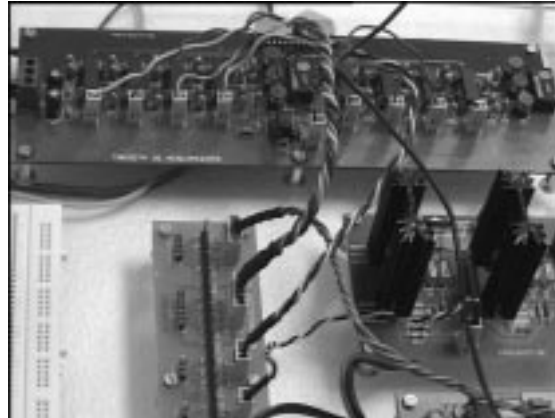


Figura 6. 10 Etapa de aislamiento galvánico

6.2.5 Tarjeta de interconexión

La tarjeta de interconexión tiene como objetivo facilitar el acceso a la señales eléctricas significativas del equipo. A través de los conectores molex interacción con el resto de circuitos, mediante los espadines se facilita la medida y con los conectores hembras permiten las conexiones con la *proto-board*. Las conexiones están asociadas a 6 grupos, definidas desde la A1 hasta la A6 y estas etiquetas aparecen serigrafiadas en la tarjeta. Las funcionalidades de cada grupo son:

1. Grupo A1: Constituido por cuatro terminales correspondientes a la tensión y corriente de la célula Peltier. Esta información es suministrada desde el observador. Recuérdese que la ganancia de la tensión Peltier es 2 y la de corriente 10 V/A.
2. Grupo A2: Son seis terminales asociados a los canales de conversión analógico-digital.
3. Grupo A3: Las dos salidas del convertidor digital-analógico, V1 y V2, acompañado de la resta de ambas, $V12 = V1 - V2$.
4. Grupo A4: Conector de la tensión de control sobre la etapa de potencia, u_{CP} .
5. Grupo A5: Salida de la tarjeta de acondicionamiento, u_{ACOND} .
6. Grupo A6: Bloque de alimentación simétrica de $\pm 12V$.



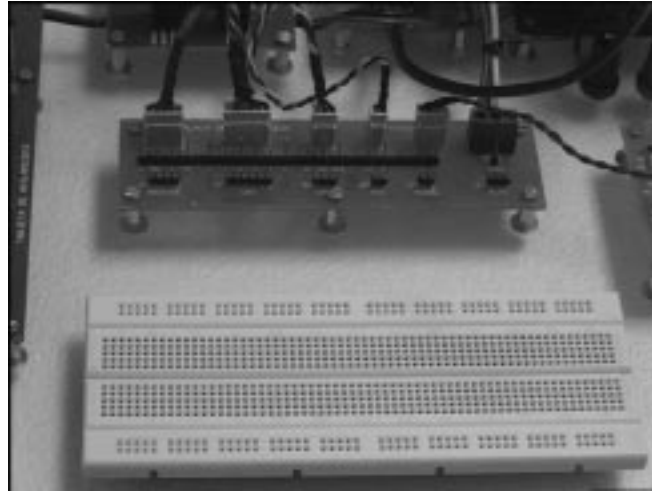


Figura 6. 11 Tarjeta de interconexión y *protoboard*

6.3 Función de transferencia del conjunto

Partiendo de las ecuaciones descritas en ec.6-8 y teniendo en cuenta la estructura *hardware* diseñada, se tendrá que:

$$\begin{aligned}
 I(s) &= A_1 u_{CP}(s) \\
 \frac{\Delta T(s)}{I(s)} &= \frac{[\alpha T_C] R_{TH}}{(1 + R_{TH} C_F s)} \\
 u_{ACOND}(s) &= A_3 \Delta T(s)
 \end{aligned}
 \tag{6. 10}$$

Y cuyo diagrama de bloques estará definido por:

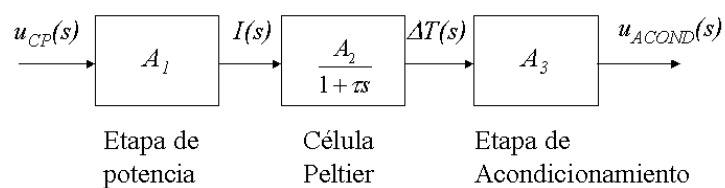
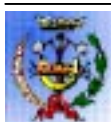


Figura 6. 12 Diagrama de bloques mediante FDT del sistema de control de temperatura



6.4 Cuestiones teóricas

1. Explicar el efecto Peltier y el funcionamiento de las células Peltier.
2. Describir el funcionamiento del equipo, desde los puntos de vistas electrónico y de servosistemas, de las etapas de consigna, potencia, célula Peltier y acondicionamiento de la señal de temperatura.
3. Comentar el funcionamiento general del sistema de control en cadena abierta sobre la célula Peltier.
4. Exponer los fundamentos de la regresión lineal y del coeficiente de regresión. Lineal.

6.5 Cuestiones prácticas

Los objetivo de la práctica son dos: conocer el equipo y modelar el comportamiento dinámico del sistema. En primer lugar, se repasará la descripción de los circuitos con su implementación, reconociendo cada uno de los bloques y observando las conexiones realizadas. El alumno sólo debe de hacer conexiones entre la *protoboard* y la tarjeta de interconexiones. Familiarícese con las serigrafías de los circuitos, sobre todo de la tarjeta de interconexión. Además de reconocer los potenciómetros P1 y P2 de la tarjeta de acondicionamiento.

Una vez que distinga todos los bloques y sepa como interactúan, se procede a calibrar el equipo, obtener las ganancias estáticas de las etapas de acondicionamiento, potencia y etapa Peltier, conocer la dinámica del sistema y, por último, determinar los parámetros característicos y la FDT del conjunto.

6.5.1 Calibración del equipo

En primer lugar, se ajustará la fuente de alimentación a comportamiento simétrico y con un valor de $\pm 12V$. Asegúrese con el polímetro. Antes de conectar el equipo a la fuente,

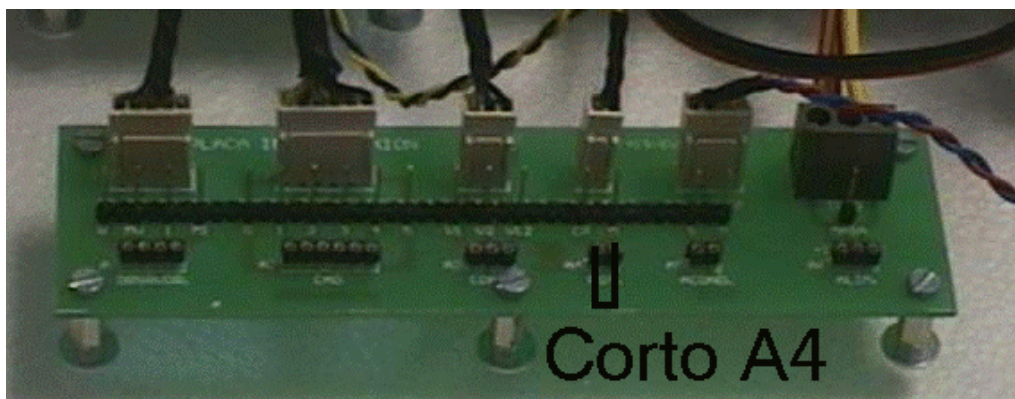


Figura 6. 13 Corto en A4 para no dar potencia a la célula

se procederá a colocar la señal de control, U_{CP} , a 0V. Para ello es sólo necesario realizar un corto en los terminales de A4 (ver figura 6.13).

A continuación monte en la *protoboard* un seguidor de tensión, este circuito le servirá de señal de mando. El esquema está recogido en la siguiente figura:

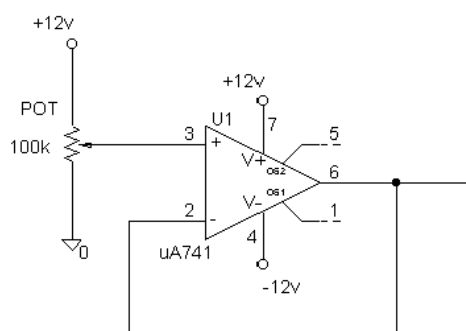


Figura 6. 14 Señal de mando o consigna

Avisé al profesor antes de encender la fuente de alimentación. En estos momentos, el equipo está en reposo y el consumo está entre los 250 mA y los 210 mA.

El siguiente paso será la calibración de la tarjeta de acondicionamiento. Esta acción consiste en obtener una función de transferencia, tal que a temperatura ambiente la diferencia de temperaturas entre caras será 0°K y la salida será 0V y con la máxima corriente circulando por la Peltier (1 A) se tendrá la máxima diferencia de temperaturas entre caras y la salida de la tarjeta sean 10 V (ver figura 6.15).

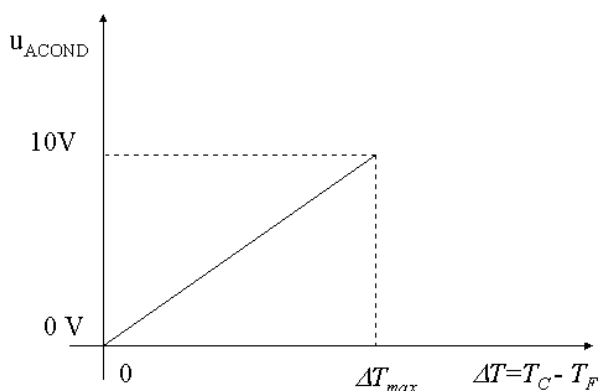
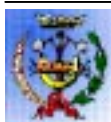


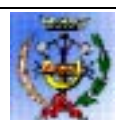
Figura 6. 15 Calibración de la tarjeta de acondicionamiento



Los pasos a seguir serán:

1. Tal cual está el equipo ajustar el potenciómetro P1 de la tarjeta de acondicionamiento con el trimador (ver serigrafía de la tarjeta), de forma que la tensión entre los terminales de A5 sea 0, esto es, se está haciendo U_{ACOND} nulo¹. Anotar la temperatura ambiente que marca el termómetro digital, obsérvese que este transductor tiene que tener el interruptor en 'WATER TEMP'.
2. Ajustar el potenciómetro del circuito de consigna hasta conseguir en su salida una tensión de +10V.
3. Avisar al profesor para mostrar los resultados.
4. Apagar la fuente de alimentación y conectar la salida de la etapa de consigna con la tensión de control de la etapa de potencia A4, U_{CP} . Obsérvese que no es necesario unirlos con dos cables, pues la masa es la misma para los dos circuitos. Cuidado al unir la señal de salida de la etapa de consigna con U_{CP} y no confundirlo con el terminal de masa.
5. Al encender de nuevo la fuente de alimentación, se estará dando la máxima potencia a la Peltier. Ahora la corriente por la fuente es de más de 1A.
6. Mida simultáneamente la U_{ACOND} (A5), observará que empieza a aumentar. Ajuste el potenciómetro P2 de la tarjeta de acondicionamiento con el trimador (ver serigrafía de la tarjeta), de forma que cuando haya alcanzado el régimen permanente, esto sucederá en 3 minutos (después se verá que es algo menos), la U_{ACOND} sea exactamente 10V. La forma de saber que se ha conseguido el régimen permanente será cuando el marcador del termómetro digital se mantiene prácticamente constante. Anote este valor de temperatura, dibuje la función de transferencia entre U_{ACOND} y el incremento de temperaturas entre caras, $\Delta T = T_C - T_F$. Por último, calcule la ganancia estática del modelo de la tarjeta de acondicionamiento.
7. Avise al profesor para que le revise los resultados.
8. Apague el equipo.

¹ El movimiento horario del potenciómetro hace que el nivel disminuya. Esta regla es válida tanto para P1 como para P2



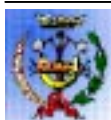
6.5.2 Cálculo de las ganancias estáticas del sistema

Una vez ajustada la etapa de acondicionamiento, se va a pasar a determinar las ganancias estáticas de las distintas etapas. Para ello se procederá con los siguientes pasos:

1. Se mantendrá el anterior montaje, esto es, controlando el equipo desde el potenciómetro del circuito de consigna. Evidentemente, P1 y P2 de la etapa de acondicionamiento no volverán a ser movidas.
2. Encienda el equipo y ajuste el potenciómetro del seguidor de tensión de forma que sea 0V la tensión de consigna.
3. En estas circunstancias deje 3 minutos para que alcance el régimen permanente. A continuación proceda a medir U_{CP} (A4), $U_{Peltier}$ (A1)², $I_{Peltier}$ (A1)³, U_{ACOND} y la temperatura que marca el termómetro, T_F .
4. Con estos valores rellene el siguiente cuadro y haga lo mismo que en el anterior apartado para los valores de consigna desde 0V hasta 10V con incrementos de 1V.

² Recuerde que la ganancia es 2

³ El observador le da una tensión que es proporcional a la corriente, cuya ganancia es 10 V/A. Por tanto no debe de emplear ningún amperímetro, solo el voltímetro.



U_{CP}	$U_{Peltier}$	$I_{Peltier}$	$I_{Peltier}/U_{CP}$	$P_{Peltier}$	T_F	ΔT	$\Delta T/I_{Peltier}$	U_{ACOND}	$U_{ACOND}/\Delta T$
0V									
1V									
2V									
3V									
4V									
5V									
6V									
7V									
8V									
9V									
10V									

5. Una vez terminado los experimentos se apagará el equipo. Seguidamente, se representará gráficamente las relaciones $I_{Peltier}/U_{CP}$, $\Delta T/I_{Peltier}$ y $U_{ACOND}/\Delta T$. Luego se determinará las rectas de regresión y el coeficiente de regresión lineal. Se recomienda utilizar una hoja de cálculo (por ejemplo, EXCEL).

6.5.3 Cálculo de la constante de tiempo de la célula Peltier

Una vez calculadas las ganancias estáticas del modelo sobre el sistema de control y al haber supuesto que éste tiene un comportamiento similar a un sistema de primer orden (ver ec. 6.8), se procederá a determinar la constante de tiempo de la célula Peltier. Con tal propósito, se procederá a lanzar el programa de 'ControlPeltier.exe', accesible desde el escritorio. Entrado en el submenú de 'Control en cadena abierta', apareciendo el siguiente cuadro de diálogos:



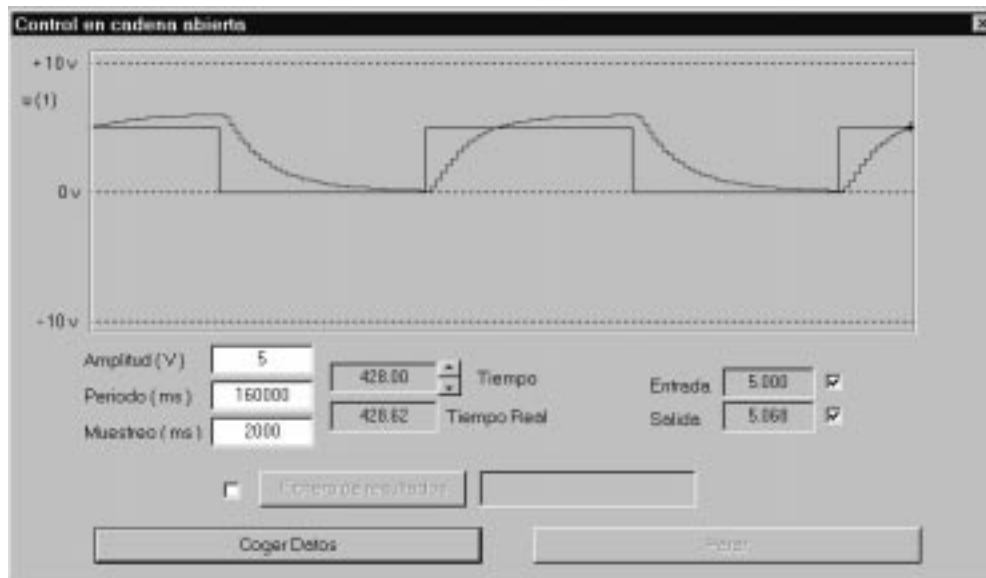


Figura 6. 16 Cuadro de diálogos de la aplicación

Esta aplicación permite generar una señal cuadrada desde el computador y muestrear la señal de salida. Por tanto, se procederá a seguir como sigue:

1. La fuente continúa apagada y se conecta la salida del convertidor digital-analógico V12 (A3) en $u_{CP}(A4)$, esto es, la señal cuadrada generada por el PC va a ser ahora la señal de consigna que ataca a la etapa de potencia.
2. Unir u_{ACOND} (A5) con el canal 0 del convertidor analógico-digital (A2). Con esto se consigue que la tensión de acondicionamiento se muestre y se visualice. Al final las conexiones quedarán como marca la figura adjunta.



Figura 6. 17 Conexión para el control en cadena abierta

3. Rellenar el cuadro de diálogos con un periodo de 200.000 ms, una amplitud de 5V, un periodo de muestreo de 2000 ms y activar la opción de fichero de resultado, depositando los valores en la unidad A. Ahora avisar al profesor para que revise el montaje.

A partir de los resultados obtener la constante de tiempo. Recuérdese que el valor de la constante será una tercera parte del tiempo de establecimiento.

$$\tau = \frac{t_s}{3} \quad (6.11)$$

6.5.4 Determinar la FDT simplificada del equipo

Con los datos experimentales dados y sabiendo que el coeficiente de Seebeck, α , es 0.003 V/K, determinar: R_{TH} , C_F , A_1 , A_2 , A_3 y τ de la ecuación 6.10 y del diagrama de bloques de la figura 6.12. Represéntese también el diagrama a bloques y la FDT conjunta.

