
- LABORATORIO DE CONTROL AVANZADO -

ACONDICIONAMIENTO DEL MICROHELICOPTERO PICOOZ PARA ACTUAR POR COMPUTADOR

ETSEIAT-UPC, CURS 2007-2008

Gabriel Portell Blanch gabriel.portell@hotmail.com

El helicóptero teledirigido ultraligero *Silverlit Toys Manufactory* se caracteriza por:

- Emisor de infrarrojos de alto alcance.
- Control de estabilidad y velocidad.
- Emisor de 3 bandas.



La funcionalidad del helicóptero es la elevación de éste en función del control remoto. En el caso ideal, esta elevación será vertical y sin turbulencias, pero una perturbación sobre la estabilidad del helicóptero, debido a las condiciones externas o defectos mecánicos del mismo, producen rotaciones y desplazamientos no deseados provocando la pérdida del control. Por lo tanto, se quiere realizar una aplicación para asegurar un buen control.

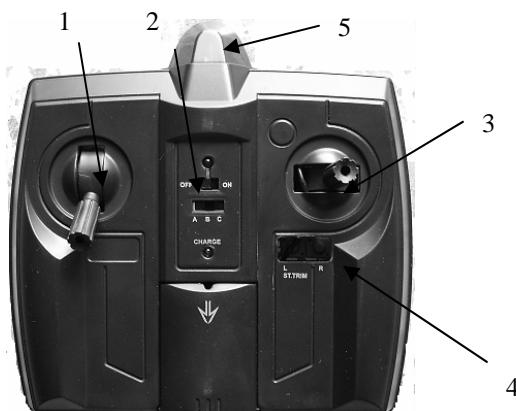
Se ha pensado en sustituir el control manual del helicóptero por un controlador por computador. Los objetivos a cumplir son:

- Conocer el funcionamiento del emisor: qué señales y consignas de control intervienen.
- Alternativas de control digital/computador.
- Implementación de la solución adoptada.
- Diseño de una interficie de prueba para el computador.

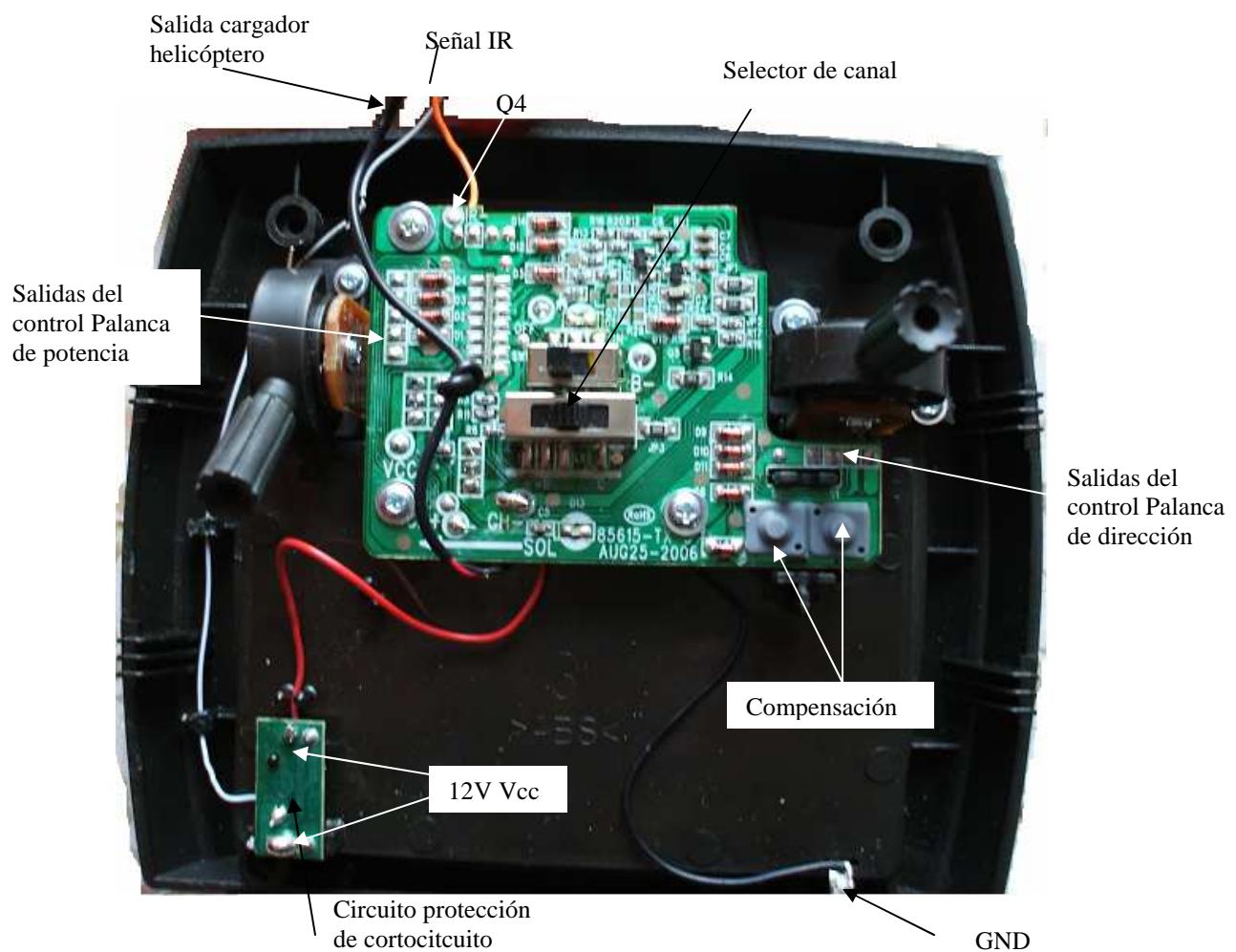
1. FUNCIONEMIENTO DEL EMISOR

El mando de control tiene 4 accionamientos manuales.

- Selector de canal de emisión. Para nuestro caso tenemos un helicóptero con canal A.
- Palanca de potencia. Incrementa gradualmente la velocidad de la hélice principal.
- Palanca de dirección.
- Compensador ST.TRIM. Equilibra el helicóptero en función de dos botones L y R.



1. Palanca de potencia. Posición inicial abajo.
2. Selector de canal.
3. Palanca de dirección. Posición inicial centro.
4. Botones para la compensación.
5. Emisor infrarrojo.

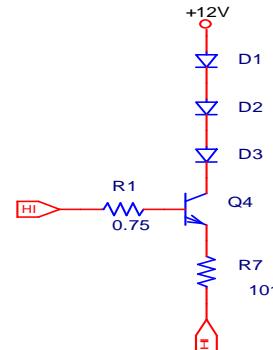


1.1. EMISOR DE INFRARROJO

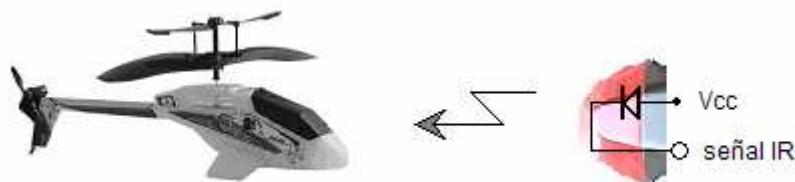
La transmisión de datos por infrarrojo se realiza mediante una portadora de 40kHz. Esta señal cuadrada es aplicada a la base de un transistor, de forma que conduce el LED infrarrojo a la misma frecuencia, emitiendo radiación IR mientras éste conduce.

El esquema de transmisión utilizado consta de 3 LED en serie, con lo que se emite por triplicado la misma señal IR con el objetivo de tener mayor cobertura.

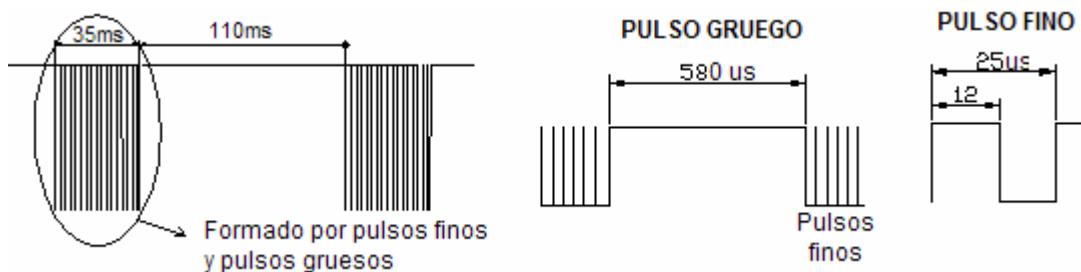
Los LEDS están conectados al colector de un transistor NPN (S8050). El emisor y base del transistor están conectados a diferentes partes del circuito. Las contribuciones emisor-base crean un tren de pulsos en el colector que será directamente emitido en IR.



La tensión máxima en el colector (referenciada a masa) es de 6V, mientras que los LEDs están conectados a +12V. La tensión umbral de un LED IR suele variar entre 1.4V y 2.6V, de aquí se obtiene la caída medida de unos 6V.



Se ha medido la señal IR con un osciloscopio. Ésta se compone por un tren de pulsos de duración 35ms separados cada 110ms. Cada tren de pulsos está compuesto por dos tipos de pulsos, que los llamaremos pulso fino y pulso grueso. Se ha observado que la cantidad de tipos de pulso dentro del mismo tren depende de la posición de las palancas.



En cuanto al uso del controlador por computador, esta señal no nos preocupa, ya que éste actuará sobre las señales de control. La generación del tren de pulsos ya se encarga el propio circuito del mando o emisor.

1.2. PALANCA DE POTENCIA

Al subir la palanca se produce en el helicóptero un aumento de la potencia de giro de la hélice, provocando que éste se eleve. El emisor es el encargado de traducir el cambio de la posición de la palanca en un tren de pulsos para la señal IR, que será interpretada por el circuito receptor en el helicóptero.

La palanca está atornillada a una base con pistas rutadas. Esta es la impresión de cada parte.



La impresión palanca y la impresión base van opositadas. A la palanca va adherida una superficie conductora con 4 extremidades sobresalientes. Éstas hacen contacto sobre la superficie de la base rutada. De esta forma, cuando subimos la palanca, la superficie conductora gira sobre el mismo eje y las cuatro extremidades de la misma se desplazan a la vez de forma angular sobre la base. En función del ángulo girado, cada extremo hará o no contacto sobre el área rutada de la base.

La base está dividida en diferentes áreas. Cada área está conectada a un pin: la semicorona interna está conectada a la entrada y las secciones externas están conectadas a las salidas.

Se trata de un encaminador, es decir, en función de la posición de la palanca la entrada es dirigida a una o más salidas.

La entrada es el pin de abajo. En la entrada hay una señal periódica que se verá más adelante.

Los pines de entrada/salida están conectados a la base mediante una manguera. Estos cinco pines los llamaremos como se muestra. Siendo el pin IN la entrada y A, B, C y D las salidas.



Se ha realizado un estudio para conocer la lógica combinacional de las salidas en función de la posición de la palanca. El sistema está basado en 15 posiciones angulares, obteniendo 15 combinaciones de salida. Los resultados han sido los siguientes.

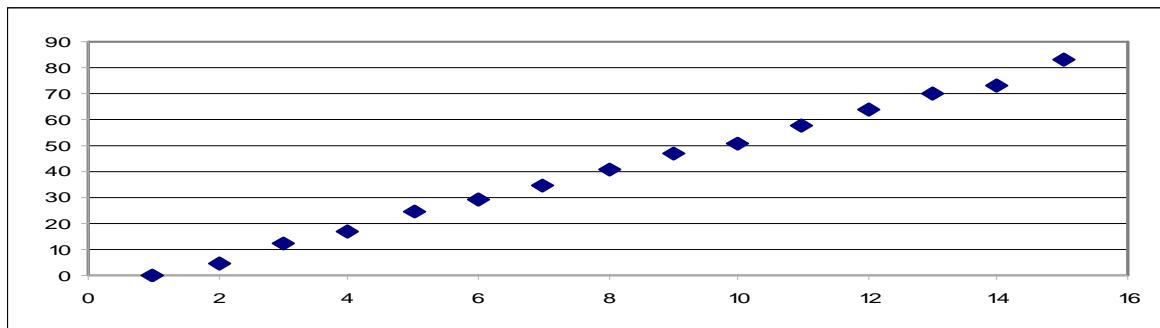
Inicialmente nos encontramos con los extremos sobre el final de la línea azul. Al final del recorrido nos encontramos sobre la línea roja. En total son unos 90°.



Salidas: 1 implica camino directo con IN.
0 implica camino al aire.

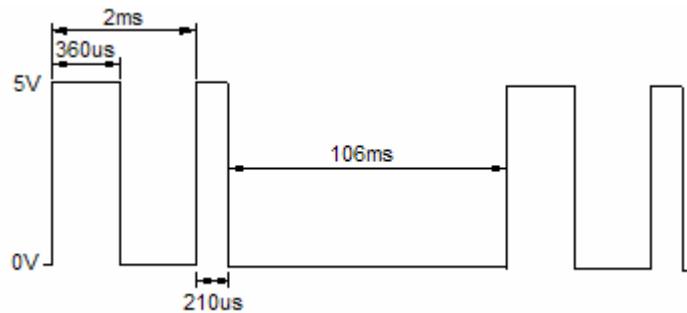
	Angulo absoluto	A	B	C	D	Incremento angular
0	0	0	1	0	0	0
1	5	0	0	0	0	5
2	12	0	0	0	1	7
3	17	0	1	0	1	5
4	25	0	1	1	1	8
5	29	0	0	1	1	4
6	35	1	0	1	1	6
7	41	1	0	0	1	6
8	47	1	1	0	1	6
9	51	1	1	0	0	4
10	58	1	0	0	0	7
11	64	1	0	1	0	6
12	70	0	0	1	0	6
13	73	0	1	1	0	3
14	83	1	1	1	0	10

Sentido de giro antihorario



Se obtiene un incremento angular medio de 6°, teniendo así los 90° ($15 \times 6^\circ = 90^\circ$).

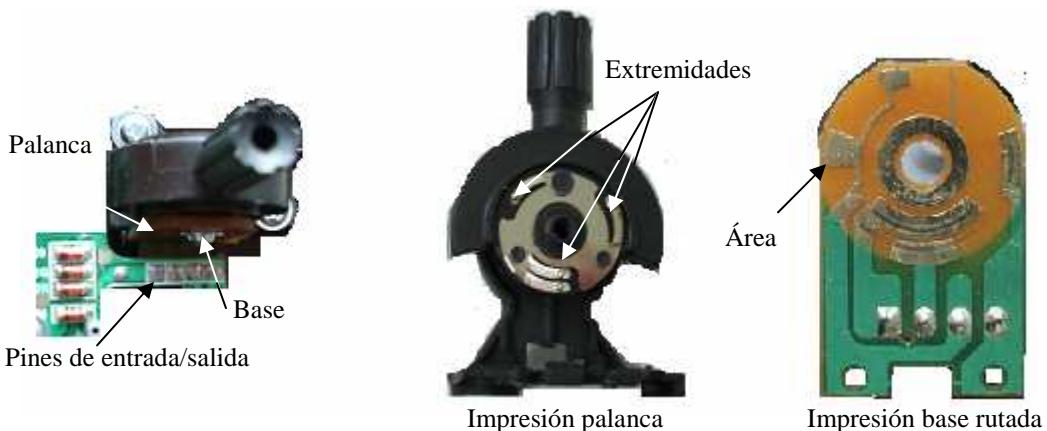
La señal que se transmite desde la entrada a una o más salidas es una señal periódica con un patrón independiente de la posición de la palanca. La forma de onda medida es la siguiente.



1.3. PALANCA DE DIRECCIÓN

Al inclinar hacia la derecha o izquierda la palanca, el helicóptero gira sobre su eje hacia la derecha o izquierda, respectivamente. El emisor es el encargado de traducir el cambio de la posición de la palanca en un tren de pulsos para la señal IR, que será interpretada por el circuito receptor en el helicóptero.

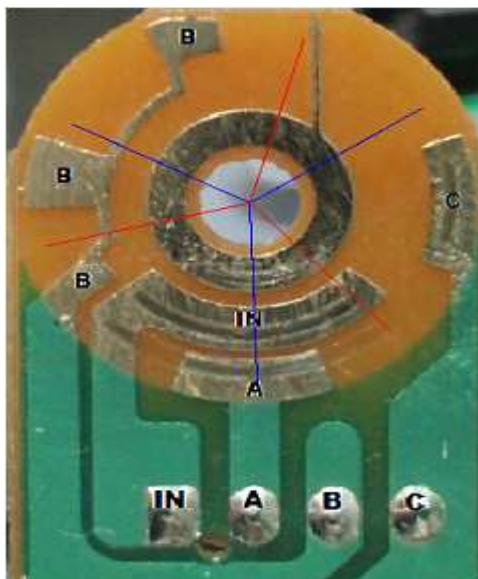
Este sistema sigue con el esquema de la palanca de potencia.



La entrada es el pin de más a la izquierda. Los pines de entrada/salida están conectados a la base mediante una manguera. Para esta palanca se tienen cuatro pines. El pin IN la entrada y A, B y C las salidas



Inicialmente nos encontramos con los extremos sobre el final de la línea azul. Al final del recorrido, si giramos a la izquierda, nos encontramos sobre la línea roja. En total son unos $\pm 45^\circ$.



Desplazando la palanca hacia la izquierda.

Sentido de giro horario

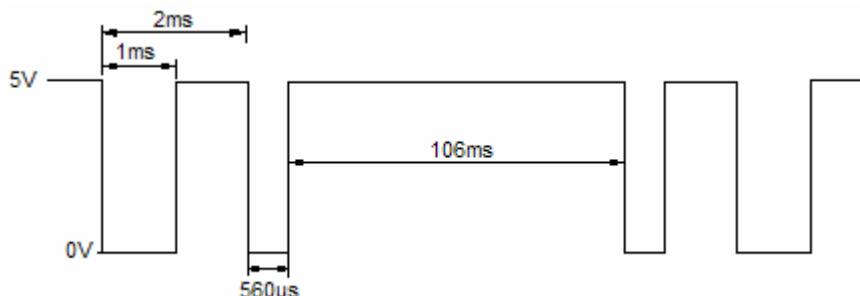
	Angulo absoluto	A	B	C	Incremento
0	0	1	0	0	0
1	12	1	0	1	12
2	23	0	0	1	11
3	36	0	1	1	13

Desplazando la palanca hacia la derecha.

	Angulo absoluto	A	B	C	Incremento
0	0	1	0	0	0
1	7	1	1	0	7
2	19	0	1	0	12
3	29	0	0	0	10

Se obtiene un incremento angular medio de 11.25° , teniendo así los 90° ($8 \times 11.25^\circ = 90^\circ$).

La señal que se transmite desde la entrada a una o más salidas es una señal periódica con un patrón independiente de la posición de la palanca. La forma de onda medida es la siguiente.



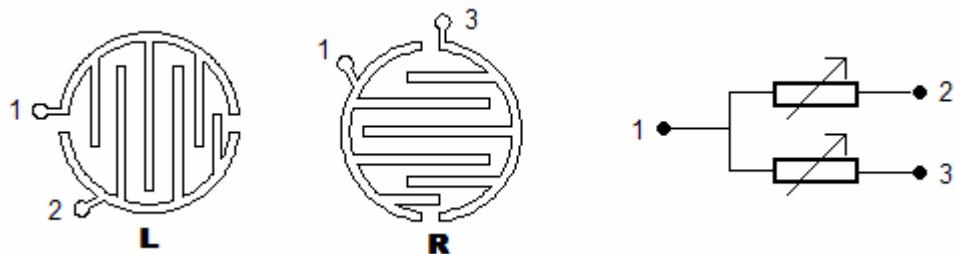
1.4. BOTONES DE COMPENSACIÓN

Dos botones (L y R) son para compensar el helicóptero. La impresión de éstos destapados es la siguiente.



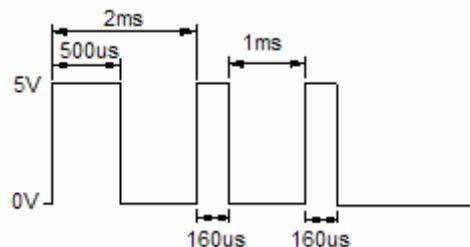
Son galgas extensiométricas. Con el multímetro se ha medido la resistencia en bornes de ambas. Presentan una alta impedancia en estado natural y una impedancia de 30Ω al presionarlas.

A continuación se muestra la conexión y esquema equivalente.



Su funcionamiento es como un interruptor, es decir, cuando son presionados dejan pasar la señal presente en la pata 1 a la pata de salida correspondiente, con una resistencia R_{ON} de 30Ω . Por lo tanto, la compensación del helicóptero se realiza por tiempo y no por número de veces que se pulsa. Experimentalmente se ha observado, tras realizar un reset, como el TRIM se queda guardado en el helicóptero o receptor, con una ligera desviación.

Al pulsar un botón aparece un patrón en el otro extremo con un periodo de 172ms tal que:



Además las señales de entrada de ambos encaminadores cambian a un patrón de tres pulsos con el mismo periodo.

2. CONTROL POR COMPUTADOR

Se tiene las siguientes señales o posiciones de control:

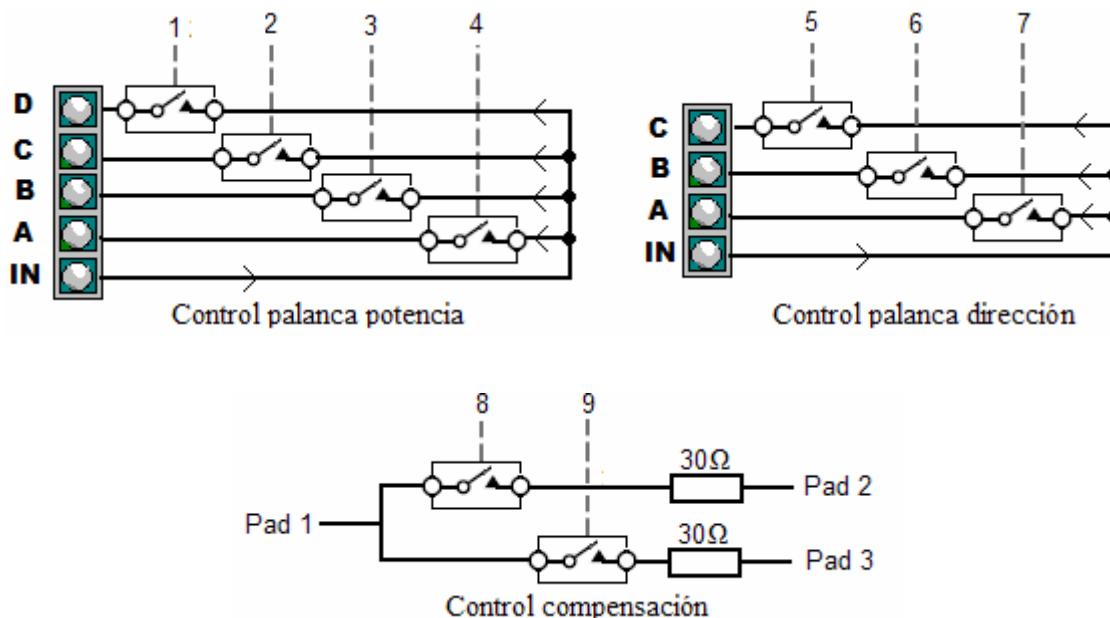
- 4 señales para la Palanca de potencia (A, B, C y D).
- 3 señales para la Palanca de dirección (A, B y C).
- 2 interruptores para la compensación (L y R).

Inicialmente se pretendía actuar sobre el emisor mediante señales analógicas de consigna con una tarjeta de PC. Pero tras ver el funcionamiento del circuito, se ha comprobado que la actuación sobre el helicóptero es discreta, con diferentes estados en función de las señales de control, introducida por el posicionamiento de los diferentes mandos.

Finalmente se ha optado por la actuación digital, a través de la tarjeta de PC.

Se trata de introducir tantos interruptores como señales de control y, mediante líneas digitales, controlar la habilitación de los mismos. Por tanto, necesitamos 9 interruptores.

Sustituiremos las palancas y botones por interruptores. Vista previa:



La lógica de control seguirá las tablas vistas anteriormente.

Las características deseables de los interruptores son las siguientes:

- Interruptor con paso de señales analógicas controlado digitalmente.
- Corriente máxima de entrada analógica superior al mA (medida).
- Baja resistencia de encendido R_{ON} , para evitar degradar la señal.
- Ancho de banda superior a los 100kHz.
- Tiempo de propagación reducido (unidades de μs).
- Tiempo de subida y bajada del orden de ns.
- Alimentación simple de 12V.
- Encapsulado DIP o SOIC.

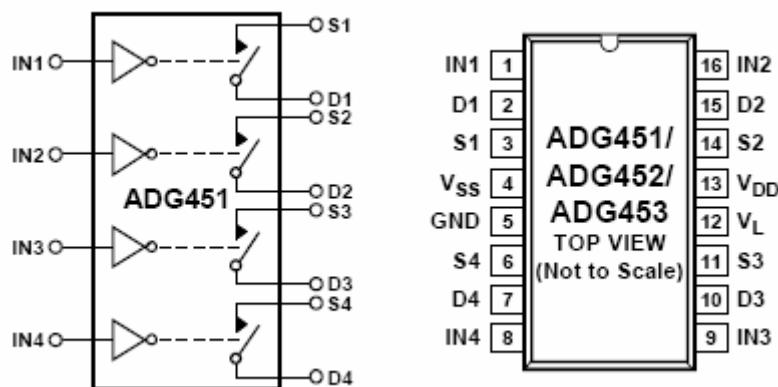
Los modelos seleccionados son ADG451, ADG 417, ADG1311 de Analog Device.

3. IMPLEMENTACIÓN DEL HARDWARE

Se ha escogido el ADG451, ya que era el más económico.

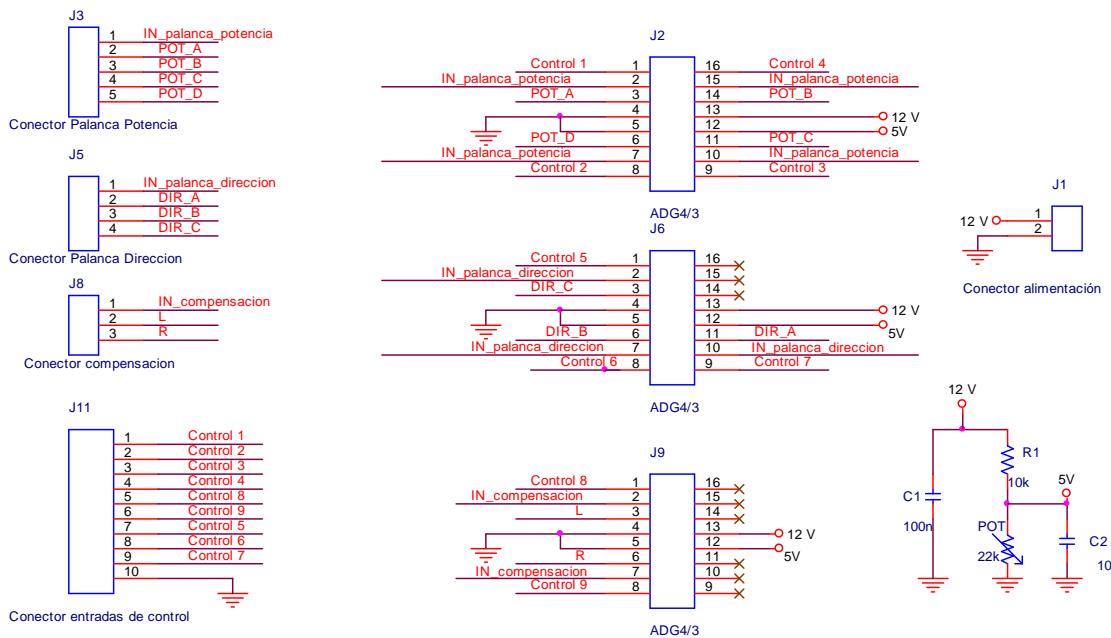
Las características importantes para el diseño son:

- Baja resistencia R_{ON} (4Ω).
- Rango de señales analógicas $\pm 15V$.
- Alimentación simple de 12V (admite otras). V_L conectado a 5V.
- Consumo máximo de $5\mu A$ por V_{DD} y $5\mu A$ por V_L .
- Corriente media máxima de la señal analógica de 100mA.
- Ancho de banda 5MHz.
- Rápidos tiempos de switching: t_{ON} y t_{off} de 70ns.
- Compatible con TTL y CMOS.
- Funciona con lógica negada (Switch x a on cuando IN_x es 0).



Pin No.	Mnemonic	Description
1	IN1	Logic Control Input.
2	D1	Drain Terminal. Can be an input or an output.
3	S1	Source Terminal. Can be an input or an output.
4	V _{SS}	In single-supply applications, it can be connected to GND.
5	GND	Ground (0 V) Reference.
6	S4	Source Terminal. Can be an input or an output.
7	D4	Drain Terminal. Can be an input or an output.
8	IN4	Logic Control Input.
9	IN3	Logic Control Input.
10	D3	Drain Terminal. Can be an input or an output.
11	S3	Source Terminal. Can be an input or an output.
12	V _L	Logic Power Supply (5 V).
13	V _{DD}	Most Positive Power Supply Potential.
14	S2	Source Terminal. Can be an input or an output.
15	D2	Drain Terminal. Can be an input or an output.
16	IN2	Logic Control Input.

A continuación se muestra el schematic.



Los 5V del pin 12 de los integrados se obtienen mediante un divisor de tensión.

Con la fuente de alimentación del laboratorio se conectarán +12V por el conector de alimentación.

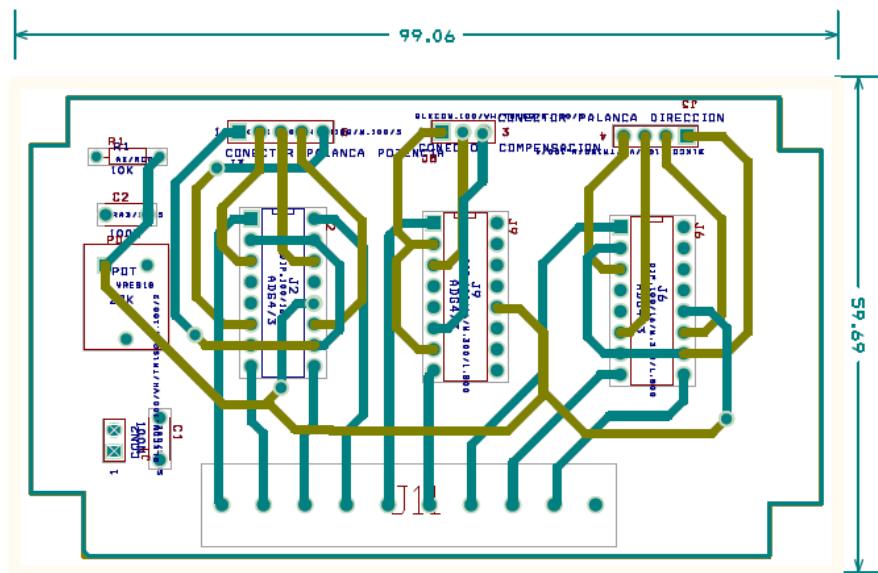
Del conector de entradas de control entradas las señales digitales desde la tarjeta de PC.

Los conectores de las palancas y de compensación se conectarán mediante cable soldado al propio mando, sobre los pines de entradas-salida vistos en el apartado anterior.

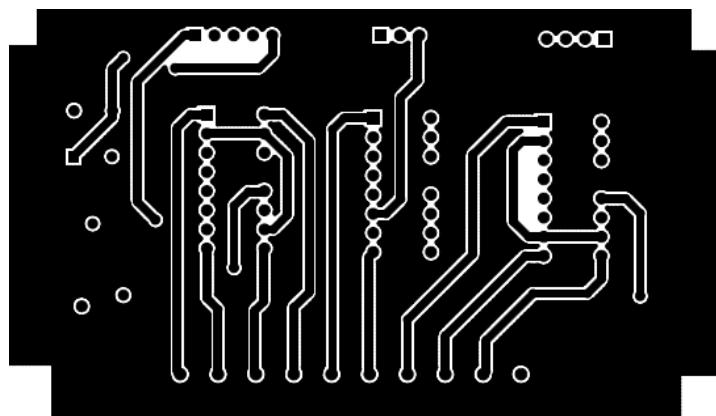
Componentes PCBs	Distribuidor	Referencia	Cantidad	Precio Unidad	Precio total
ADG157BNZ	Farnell	9603731	3	8,69 €	26,07 €
Socket IC-DIL 16 pines 0,3", paso 2,54mm	Farnell	1077298	3	2,08 €	6,24 €
Condensador cerámico 100nF (50V)	Farnell	1457657	2	0,33 €	0,66 €
Resistencia 10k 0.25W	Farnell	9341110	1	0,03 €	0,03 €
Potenciómetro 20k	Farnell	9354344	1	0,97 €	0,97 €
Terminal recto 1 fila, paso 2,54mm	Farnell	1212162	1	2,03 €	2,03 €
Terminal PCB paso 5.08mm.	Amidata	467-0417	5	0,66 €	3,3 €
TOTAL					39,3 €

Se trata de un prototipo, por lo que su implementación se ha realizado en una placa perforada. Como futura aplicación se han diseñado sus impresiones en PCB. Se ha utilizado el programa Layout Plus de Orcad.

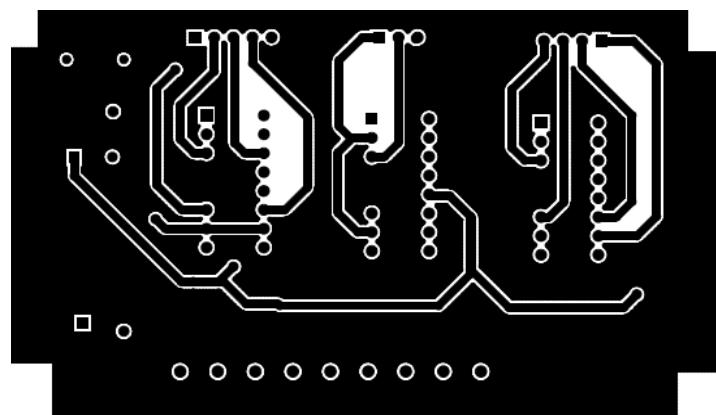
Vista general de la placa PCB.



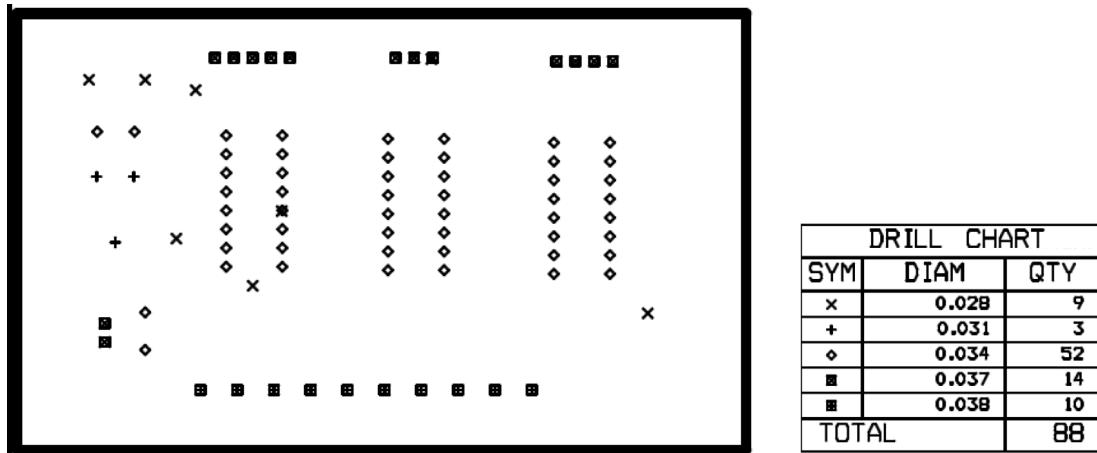
Capa TOP (Plano de alimentación +12V).



Capa BOTTOM (Plano de masa 0V).

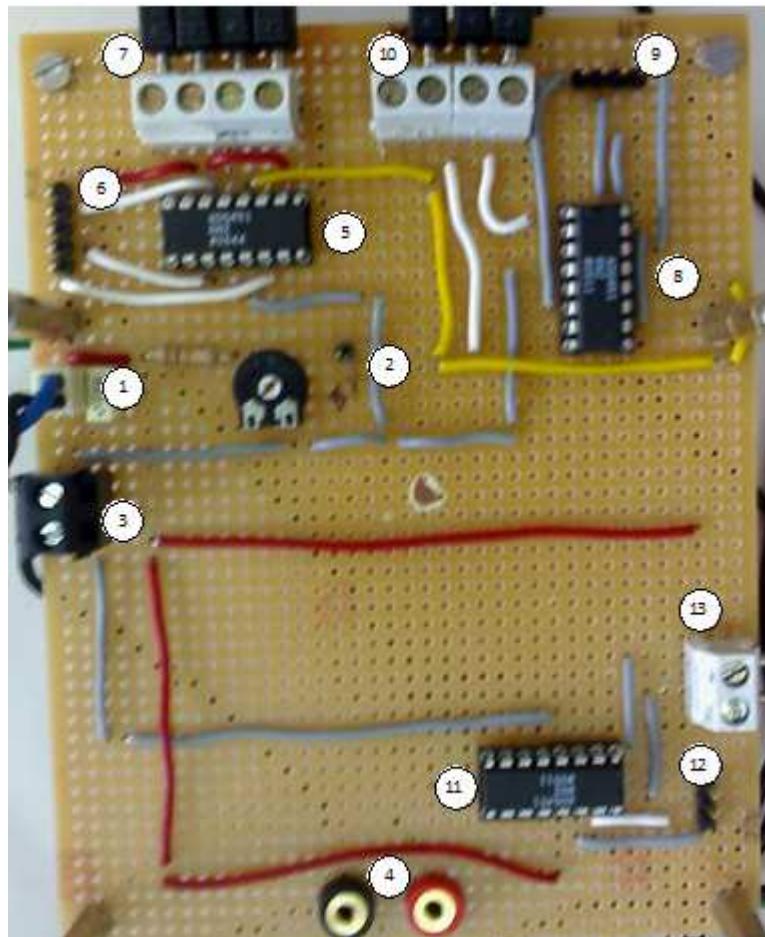


Definición de agujeros (mils).



Para más información acerca de layout, consultar el fichero.

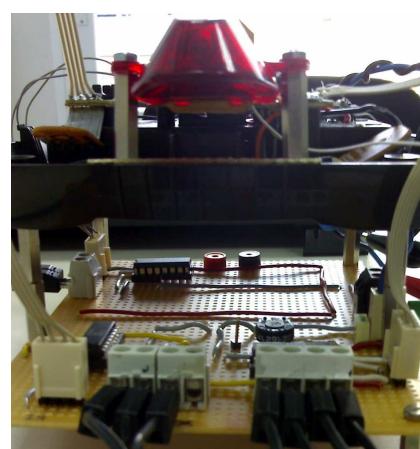
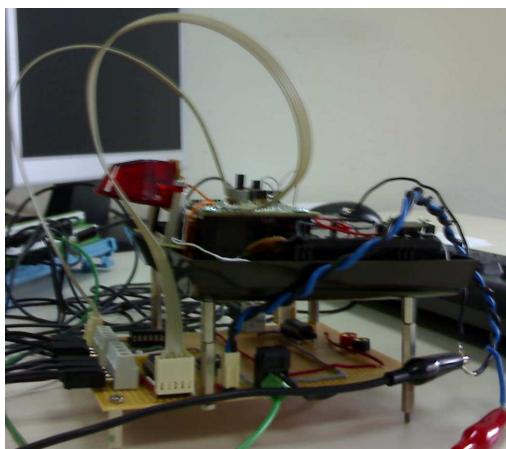
La implementación del prototipo en la placa perforada se ha realizado siguiendo con el schematic anterior. A continuación se muestra su impresión.



Descripción del prototipo:

- 1.– Conectores de alimentación: Cable azul +12V (Arriba), Cable negro GND (Abajo).
- 2.– Terminal medida V_L : Este pin ha de medir +5V. Con el potenciómetro de al lado se ajusta el valor.
- 3.– Terminales de GND: Ambos conectores están conectados a GND.
- 4.– Conectores de alimentación: Se han duplicado para mayor comodidad de conexión.
- 5.– Digital switch señales de potencia.
- 6.– Conector potencia: Conectado al mando emisor. Empezando por arriba, el orden es: IN-A-B-C-D.
- 7.– Señales digitales control de potencia: Señales de control de switch de potencia. Empezando por la derecha, el orden es: Control B – Control D – Control C – Control A.
- 8.– Digital switch señales de dirección.
- 9.– Conector dirección: Conectado al mando emisor. Empezando por la derecha, el orden es: IN-A-B-C.
10. – Señales digitales control de dirección: Señales de control de switch de dirección. Empezando por la derecha, el orden es: Control A – Control B – Control C – No Conectado.
11. – Digital switch señales de compensación.
12. – Conector compensación: Conectado al mando emisor. Empezando por abajo, el orden es: IN-L-R.
13. – Señales digitales control de compensación: Señales de control de switch de compensación. Empezando por abajo, el orden es: Control L – Control R.

Para mayor comodidad, se ha puesto un soporte para colocar el mando encima.



Se recomienda conectar la alimentación de la placa con una fuente de alimentación externa.

4. SOFTWARE DE TEST

Se ha diseñado una actuación por computador mediante MatLab, mediante una interficie gráfica para usuario, donde se permite actuar sobre todas las señales de control del emisor.

Se utiliza la tarjeta PCI-1711 de Advantech, de la cual utilizaremos el bloque 16 canales de salidas digitales.

A continuación se muestran los pasos básicos para poder actuar con las salidas digitales de nuestra tarjeta. Para empezar, se ha de crear un objeto digitalI/O asociado al hardware Advantech, tendiendo en nuestro caso, un dispositivo con identificador 1. Una vez creado el objeto añadiremos las líneas digitales asociadas a los puertos que se utilizarán. PCI-1711 tiene 4 puertos de 8 bits: Puerto 0 y 1, ambos de 8 entradas digitales, y Puerto 2 y 3, ambos de 8 salidas digitales. Utilizaremos las salidas digitales.

```
dio1 = digitalio('advantech',1);
dio2 = digitalio('advantech',1);
addline(handles.dio1,0:7,2,'out');
addline(handles.dio2,0:7,3,'out');
```

Necesitamos 9 salidas digitales. Para cargar el valor a la salida se utiliza la siguiente estructura, siendo D el vector de dirección, P el vector de potencia, R la compensación derecha y L la compensación izquierda.

```
putvalue(dio1, [1 D P]);
putvalue(dio2, [1 1 1 1 1 R L]);
```

D y P son vectores leídos de la tabla de verdad vista en el apartado de funcionamiento del emisor. Ahora bien, hay que tener en cuenta que el integrado ADG157 funciona con lógica negada. Por lo tanto, la lectura de esta tabla, en función de unos índices *i* y *j*, es:

```
% Tabla_Potencia: Posicion1 --> A
%
% Posicion2 --> B
%
% Posicion3 --> C
%
% Posicion4 --> D
Tabla_Pot = 1-[0 1 0 0; 0 0 0 0; 0 0 0 1; 0 1 0 1; 0 1 1 1; 0 0 1 1;
               1 0 1 1; 1 0 0 1; 1 1 0 1; 1 1 0 0; 1 0 0 0; 1 0 1 0;
               0 0 1 0; 0 1 1 0; 1 1 1 0];
%
% Tabla_direccion: Posicion1 --> A
%
% Posicion2 --> B
%
% Posicion3 --> C
Tabla_Dir = 1 - [0 1 1; 0 0 1; 1 0 1; 1 0 0; 1 1 0; 0 1 0; 0 0 0];
P = Tabla_Pot(i,:);
D = Tabla_Dir(j,:);
```

Inicialmente, para que el helicóptero empiece desde el reposo el índice i ha de ser 1 y el índice j ha de ser 4.

Es muy importante hacer esta inicialización antes de encender el helicóptero, ya que sino no se habilita ningún interruptor y al emisor tiene le llega la señal correspondiente a la posición 2 de la tabla de potencia y la posición 7 de la tabla de dirección, es decir, que no partirá de quieto.

Para el test del emisor se ha creado una interficie gráfica con el objetivo de evitar la programación extra en Matlab por parte del usuario, la cual incorpora ya el código con todos los pasos necesarios comentados anteriormente.

Esta interficie utiliza la siguiente estructura de puertos de salida digitales.

Puerto DIO_2 = [X DirA DirB DirC PotA PotB PotC PotD]

PotX = Señal de control de potencia X.

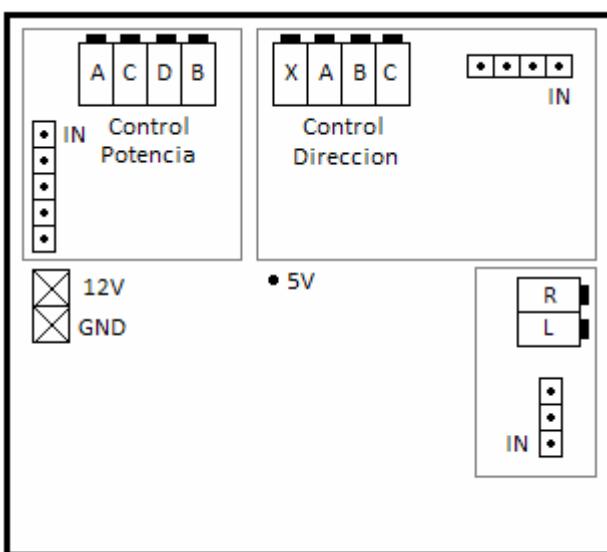
Puerto DIO_3 = [X X X X X X R L]

DirX = Señal de control de dirección X.

La conexión con la tarjeta es la siguiente:

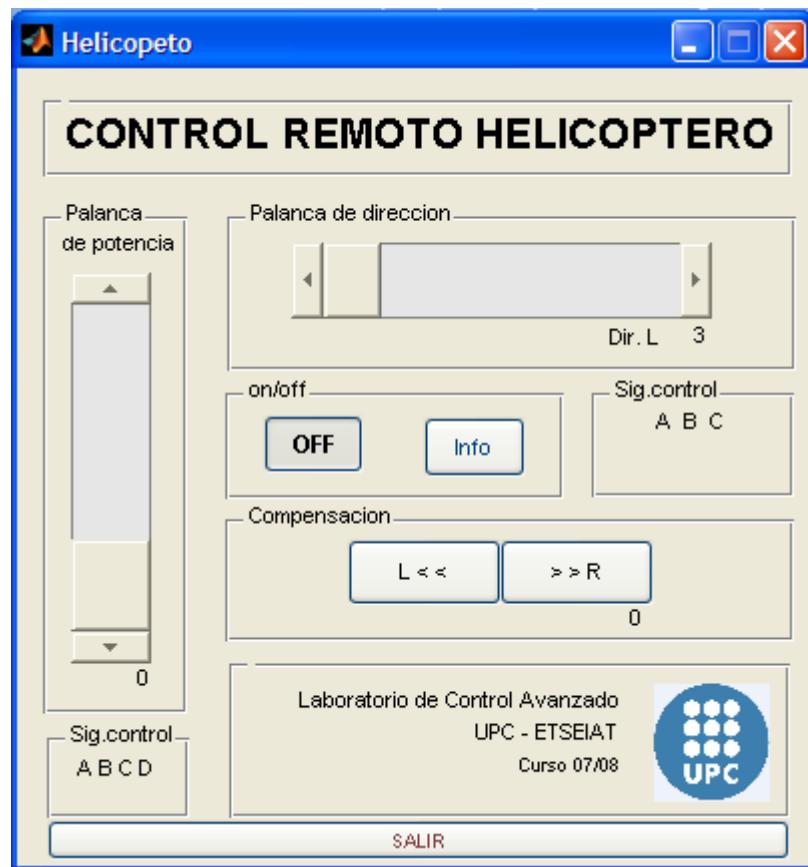
Control	Pin DAQ	DO
DirA	PIN 13	DO1
DirB	PIN 46	DO2
DirC	PIN 12	DO3
PotA	PIN 45	DO4
PotB	PIN 11	DO5
PotC	PIN 44	DO6
PotD	PIN 10	DO7
R	PIN 40	DO14
L	PIN 6	DO15

DIO	56	22	DI1
DI2	55	21	DI3
DI4	54	20	DI5
DI6	53	19	DI7
DI8	52	18	DI9
DI10	51	17	DI11
DI12	50	16	DI13
DI14	49	15	DI15
DGND	48	14	DGND
DO0	47	13	DO1
DO2	46	12	DO3
DO4	45	11	DO5
DO6	44	10	DO7
DO8	43	9	DO9
DO10	42	8	DO11
DO12	41	7	DO13
DO14	40	6	DO15
DGND	39	5	DGND



Una vez realizadas las conexiones con la placa, ejecutar el programa Helicoptero.m, de la carpeta picooZ.

Aparecerá el siguiente interfaz gráfico, que simula el mando de juguete, con las mismas funcionalidades.



Modo de utilización:

- 1.- Colocar slider Palanca potencia y slider Palanca dirección en posición 0.
- 2.- Encender el helicóptero.
- 3.- Apretar ON.
- 4.- Realizar la acción deseada.
- 5.- Para finalizar colocar slider Palanca potencia a 0 y pulsar Salir.