

## 2.1 Documentación de partida

### 2.1.1 Características del drone

El drone utilizado en este proyecto debía ser resistente, ya que debía soportar varios quilogramos de carga, distribuidos entre la circuitería, las baterías para asegurar su autonomía y el pulverizador.

Para este propósito se puso a nuestra disposición el drone Mikrokopter Arf Okto XL, el cual presenta las siguientes características técnicas:

- Carga de 3 a 4 kg
- 8 motores brushless de 350W
- Sensores de altitud incorporados
- GPS
- Acelerómetro
- Conexión con el programa de ajuste MKUSB
- 2 baterías LiPo 6600 mAh



Figura 66: Drone Mikrokopter ARF Okto XL

Además presenta las siguientes funcionalidades integradas de serie:

- Mantenimiento de la posición
- Mantenimiento de la altitud
- «Retorno a casa», permite volver a un punto determinado definido como «casa»
- Aterrizaje automático

- Vuelo de un punto a otro configurado previamente
- Compensación de una posible cámara que se le puede instalar
- Aterrizaje gradual cuando la batería llega a su límite
- Modo « CareFree » para un control más simple

El drone está configurado con el radiocontrol Graupner MC-20 como sigue:



Figura 67: radiocontrol Graupner MC-20

El acelerador (palanca izquierda) permite regular la altitud del drone y la velocidad con la que debe realizarla. Existen dos configuraciones para este desplazamiento, un modo manual (donde la altura del joystick se corresponde con una determinada velocidad de los motores) o el modo HoldHeight que permite mantener la posición cuando se suelta el joystick y cada movimiento del mismo actúa como un incremento o decremento en la velocidad de rotación de los motores. Si hacemos girar este joystick de derecha izquierda controlaremos la orientación del drone, es decir, lo haremos girar sobre su eje vertical

El joystick derecho permite hacer avanzar o retroceder el drone, inclinándolo, si se mueve arriba y abajo, y hacerlo moverse hacia derecha o izquierda si así se mueve el joystick. El eje de referencia para el drone que toma como “delante” es la barra de diferente color.

En cuanto a los botones de configuración (a partir de ahora los llamaremos switch) tenemos:

El switch 5/6 tiene tres posiciones: abajo (posición 5), al medio (posición 5/6) y arriba (posición 6).

- La posición 5 corresponde a parar el GPS, el control de la posición (PositionHold) se desactiva, el drone despegará sin la posición GPS pero no mantendrá su posición si una ráfaga de viento lo zarandea.



- La posición 5/6 permite activar el GPS, y el control de la posición (PositionHold). Si no se recibe ninguna señal GPS durante un periodo de tiempo, el drone emite un bip regular para avisar de la anomalía.
- La posición 6 activa la función «Retorno a casa»

El switch 7 (activo hacia arriba) permite activar la función HoldHeight, la cual permite mantener la altura del drone constante.

El switch 8 permite activar la función que se encarga del aterrizaje automático, es suficiente con que el drone se encuentre a unos pocos metros del suelo para activar esta función. El drone aterriza limpiamente reduciendo gradualmente la velocidad de rotación de los motores y corrigiendo la potencia de cada uno si no se encuentra en posición horizontal. Una vez el drone ha aterrizado solo queda parar los motores.

El switch 9 (activo hacia arriba) permite activar la función CareFree. Esta función redefine la referencia del drone si se aleja más de 20 metros del usuario, es decir, si el controlador pierde el control o se aleja demasiado el drone volverá dentro del radio establecido y volará solo en el interior de la circunferencia.

Sin embargo, todas estas configuraciones pueden ser modificadas con el programa MikroKopter-Tool® en la pestaña “Settings”. **En ningún caso** hay que tomar estas configuraciones como una guía general, ni como una configuración de fábrica. Cabe recalcar que la manipulación de un drone de estas dimensiones (o de cualquiera que sea su talla) sin tomar las precauciones necesarias puede acarrear daños serios para el usuario, para las personas cercanas al drone y para los inmuebles presentes.

### 2.1.2 Esquemáticos de la tarjeta del drone

En esta sección se presentan los circuitos esquemáticos de la tarjeta disponible sobre el drone, la cual contiene un microcontrolador, unos reguladores de tensión, un módulo GPS, un módulo de radio, una memoria Flash y toda la electrónica necesaria para que todo funcione.

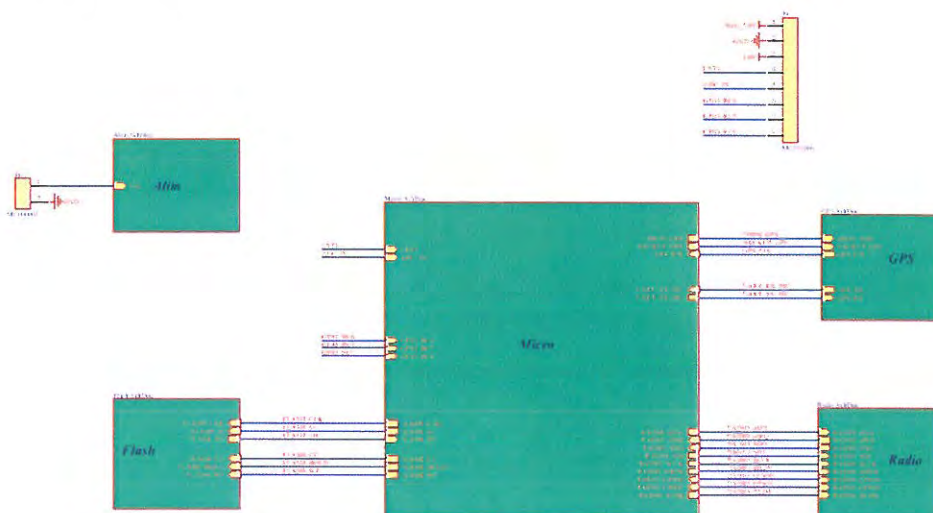


Figura 68: Organización de los esquemáticos y relación entre ellos

Presenta dos reguladores de tensión uno para fijar la tensión a 5V en caso de que la entrada sea superior y otro a 3V para el funcionamiento del microcontrolador y el resto de electrónica asociada.

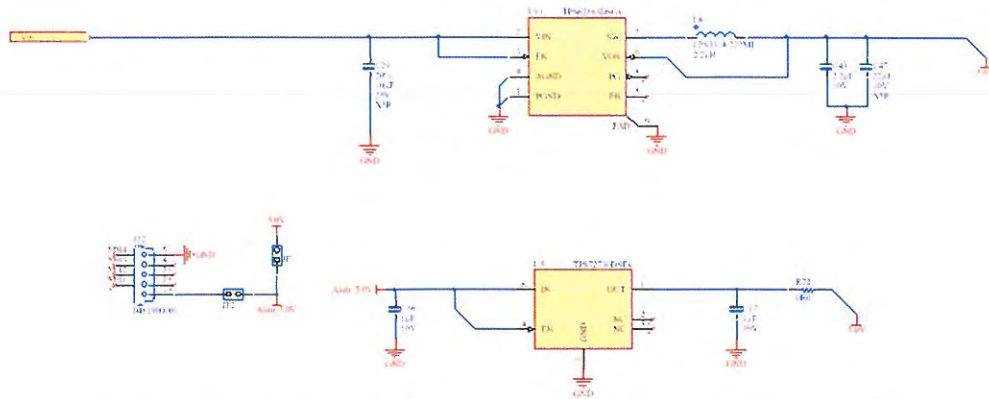


Figura 69: Reguladores de tensión de la alimentación y conexión USB

Además, cuenta con un sistema de GPS compuesto por el modulo GPS y la antena del mismo.

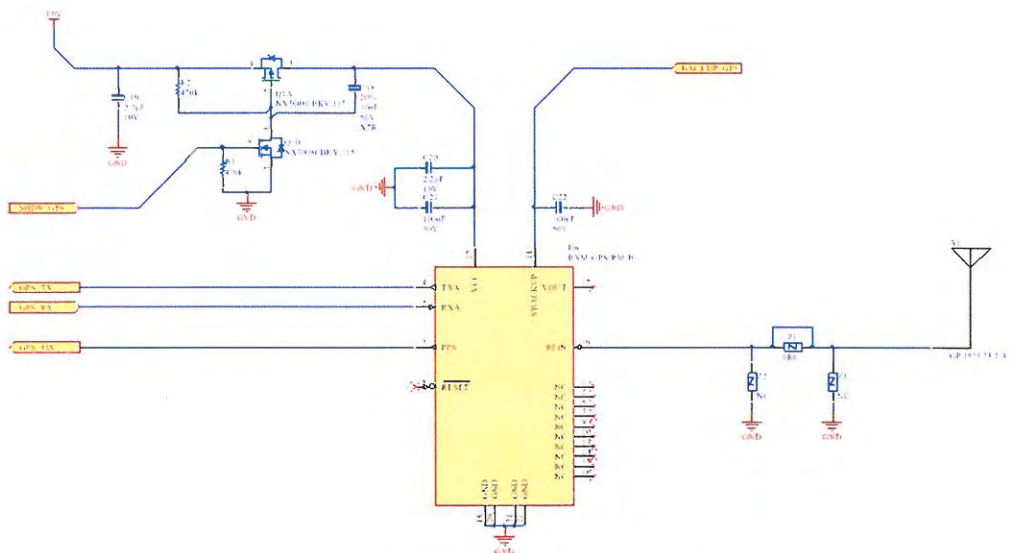


Figura 70: Montaje electrónico del GPS

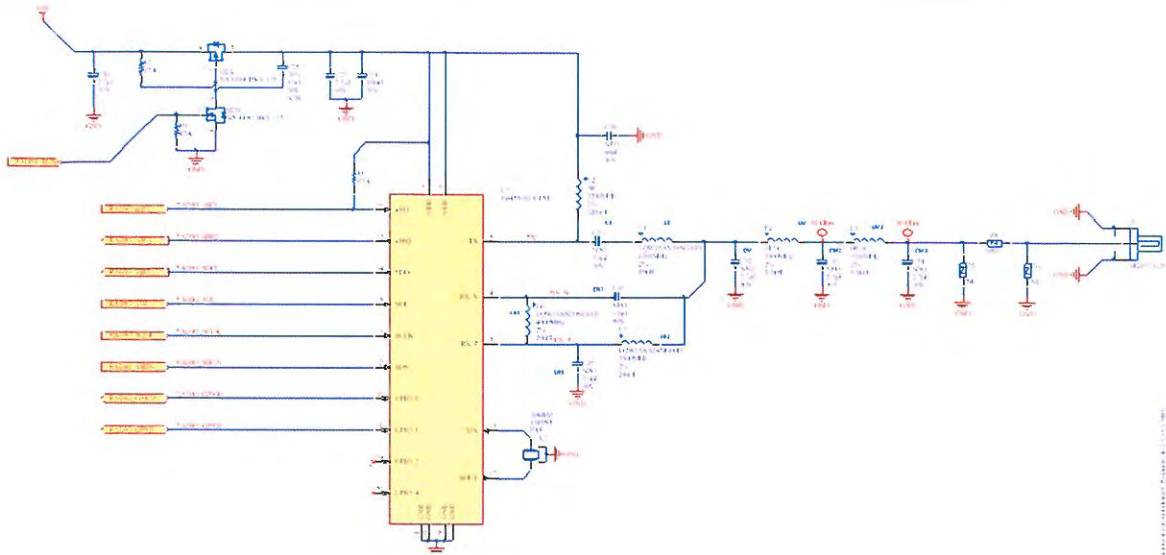


Figura 71: Montaje de la radio

También se incluyen los montajes del microcontrolador y de la radio, encargados de la mayor parte de funcionalidades del sistema.

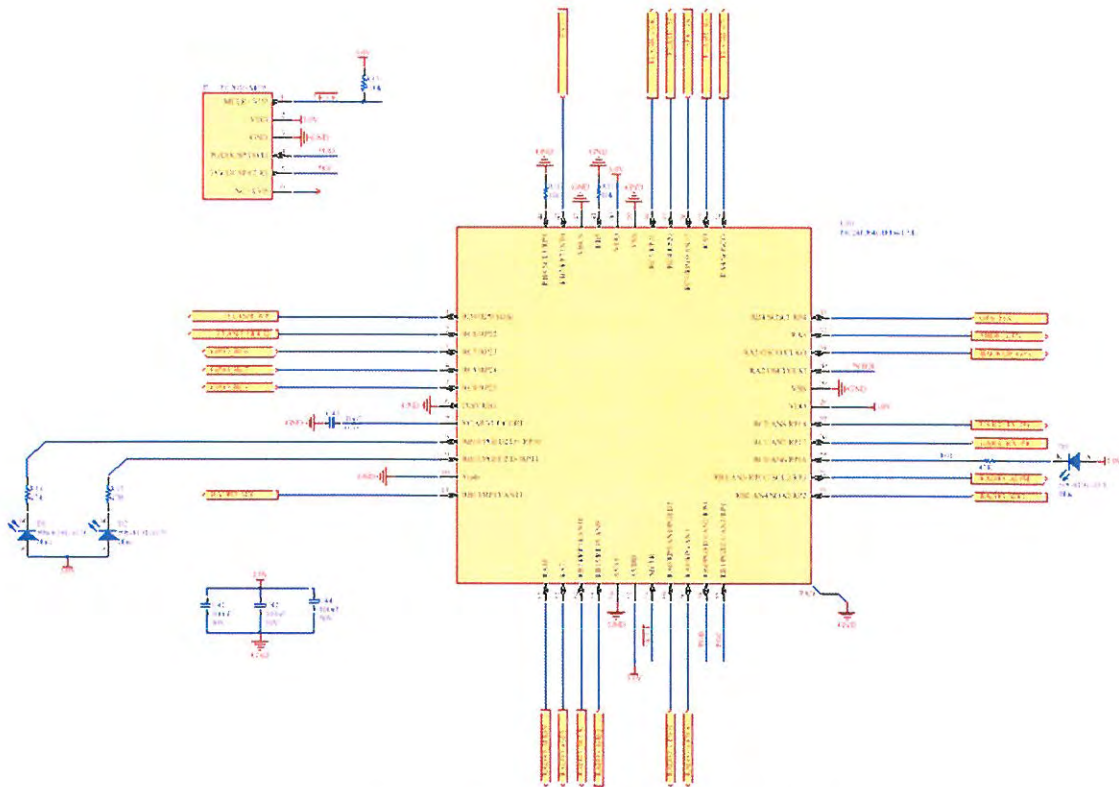


Figura 72: Montaje del microcontrolador



Finalmente, para el guardado de los datos de los sensores en tierra y de la posición GPS se incluye el montaje de una memoria Flash.

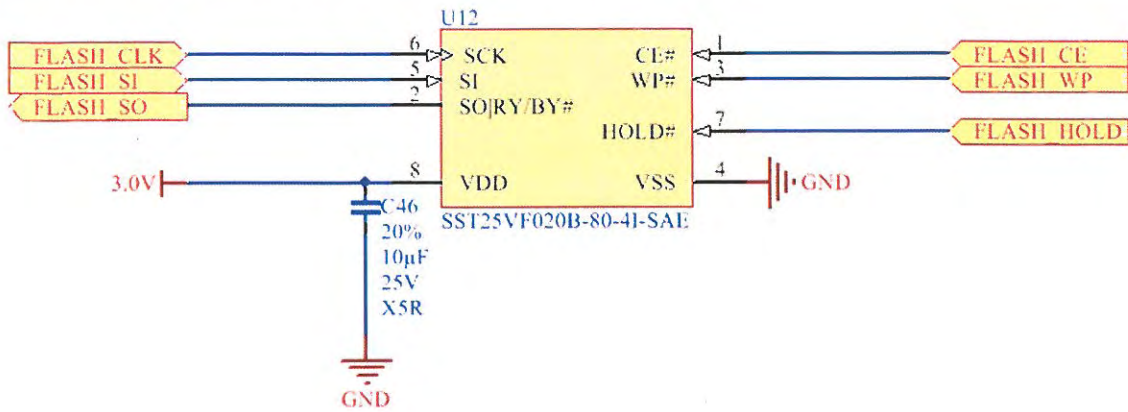


Figura 73: Montaje de la memoria Flash

## 2.2 Cálculos

### 2.2.1 Características bomba de agua

A continuación vamos a determinar las características del sistema en cuestión, la bomba. La función de transferencia de la bomba corresponde a:

$$F(s) = \frac{as + b}{\tau s + 1}$$

Donde la entrada es la tensión aplicada y la salida es la corriente.

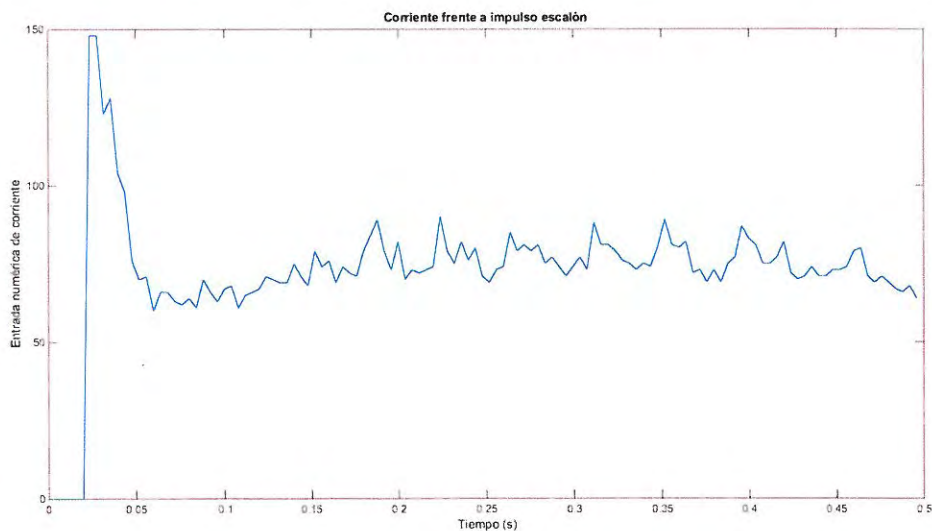


Figura 74: Respuesta experimental de la bomba frente a señal escalón (0-5V)

Se puede ver que la curva se corresponde a la respuesta ante escalón de un sistema de primer orden con ganancia directa, tal y como se había propuesto anteriormente. Para el análisis que nos ocupa sólo necesitamos conocer la dinámica del polo (la constante de tiempo).

De la gráfica obtenemos que cuando el transitorio llega al 98% del cambio total que realiza han transcurrido 0,05 s, valor que corresponde a  $4\tau$ , siendo tau la constante de tiempo, por lo tanto:

$$\tau = \frac{0,05}{4} = 0,0125 \text{ s}$$

Sabiendo el tiempo de respuesta de la bomba podemos determinar la frecuencia mínima de la señal PWM para controlarla, y sabiendo que la tensión mínima para que la bomba funcione es de 3,5V podemos determinar el rango de ciclos de trabajo de la señal PWM.

Empezamos por calcular el ciclo de trabajo mínimo para que la bomba funcione:

$$5 \cdot \frac{t_{on}}{t_{TOT}} + 0 \cdot \frac{t_{off}}{t_{TOT}} = 3,5$$

$$5 \cdot duty = 3,5 ; \quad duty = 70\%$$

Para calcular la frecuencia mínima consideraremos que la señal PWM debe ser alrededor de cinco veces más rápida que la bomba. Por lo tanto:

$$t_{MIN} = \frac{4 \cdot \tau}{5 \cdot 0,7} = 0,0142857; \quad f_{MIN} = \frac{1}{t_{MIN}} = 70 \text{ Hz}$$

Por lo tanto, escogemos controlarla con una señal PWM de frecuencia 100 Hz.

### 2.2.2 Cálculo del VAN y de la TIR

Para el cálculo del VAN se emplea la fórmula siguiente:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{FN_t}{(1+k)^t} - I_0$$

- $FN_t$  representa los flujos de caja en cada periodo t
- $I_0$  es el valor del desembolso inicial de la inversión.

- n es el número de períodos considerado.
- k es el tipo de interés.

El cálculo de la TIR se obtiene reemplazando el interés por la TIR y el VAN final por 0:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{FN_t}{(1 + TIR)^t} - I_0 = 0$$

Con los polinomios resultantes de esta fórmula cuando se debe estudiar la TIR con muchos periodos se usa la aproximación de Schneider, que no mostraremos en este proyecto.

## 2.3 Estudios con entidad propia

### 2.3.1 Manual de actividades para garantizar la seguridad de personas y bienes

Para poder volar con un drone la legislación francesa exige este documento en el cual se deben detallar:

En cuanto a personas:

- Los responsables de la empresa a la cual pertenece el drone así como el responsable del sistema, específicamente, el encargado de la seguridad de este sistema.
- Los pilotos. Se deben describir las funciones operacionales (lo que van a hacer con el drone) y las responsabilidades de los pilotos.
- Otras personas con responsabilidad sobre el drone.

En cuanto a la empresa:

- Se deben describir las actividades que se quieren realizar con el drone así como los escenarios modelo que más se ajustan a esta actividad.

En cuanto a los medios técnicos:

- La clasificación de la aeronave según la categoría, tipo, constructor, identificación, actividades y permiso de navegación

En cuanto a los pilotos:

- Identificación de los mismos, conocimientos teóricos del piloto y limitaciones de pilotaje.



- Definición de las competencias y de la formación requerida por la empresa
- Elementos justificativos de formación aeronáutica.

En cuanto a la seguridad:

- Medios que aseguran la protección de terceros y de bienes.
- Identificación de riesgos ligados a la explotación del drone
- Proceso de verificación de mantenimiento del drone y de cumplimiento de los objetivos establecidos cumpliendo las normas de seguridad
- Registro del tiempo de vuelo

### 2.3.2 Estudio Básico de Seguridad y Salud

En cuanto a la realización del proyecto las tensiones máximas con las que se opera son de 6V, y las corrientes de potencia para la bomba no son accesibles fácilmente. Por otra parte, no existe riesgo de cortocircuito debido al agua porque todos los bancos de test son estancos y seguros, por lo tanto, el mayor riesgo al que nos exponemos es al soldar el driver para la bomba. Para ello se deberán cumplir las siguientes especificaciones:

Antes de iniciar una soldadura hay que asegurarse de que:

- La punta del soldador esté limpia. Para ello se puede usar un cepillo de alambres suaves o una esponja humedecida. En ningún caso se raspará la punta con una lima ya que puede dañarse el recubrimiento de cromo.
- Las piezas a soldar estén totalmente limpias y a ser posible pre-estañadas. Para ello se utilizará un limpiametales o lija muy fina.
- Se está utilizando un soldador de la potencia adecuada, 15~30 W, nunca superiores, pues los componentes del circuito se pueden dañar si se les aplica un calor excesivo.

Los pasos a seguir para un correcto proceso de soldadura son:

- Asegurarse de que las zonas a soldar están bien limpias
- Limpiar la punta del soldador de vez en cuando
- Acercar los elementos a unir hasta que se toquen. Si es necesario, utilizar unos alicates para sujetar bien las partes. Aplicar el soldador a las partes antes de soldar, de forma que se calienten ambas partes.
- Sin quitar el soldador, aplicar el estaño (unos pocos milímetros) a la zona de la soldadura, evitando tocar directamente la punta.

- Retirar el hilo de estaño.
- Retirar el soldador, tratando de no mover las partes de la soldadura. Dejar que la soldadura se enfríe naturalmente. Esto lleva un par de segundos.

## 2.4 Otros documentos justificativos y aclarativos del proyecto

### 2.4.1 Manuales

Los manuales (nombrados datasheet en la memoria) a los que se hace referencia corresponden a los diferentes componentes usados en el desarrollo del proyecto.

#### 2.4.1.1 Conector USB

Modelo que se ha tomado para realizar la footprint del USB en el circuito impreso.

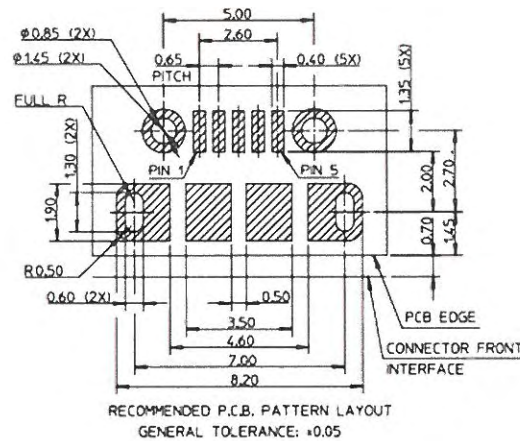


Figura 75: Footprint USB

#### 2.4.1.2 Botones

Modelo que se ha tomado para realizar la footprint del interruptor en el PCB.

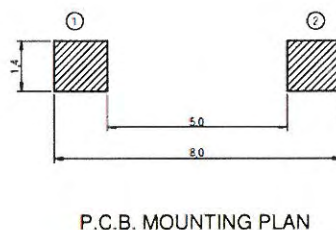


Figura 76: Footprint del interruptor

2.4.1.3 LCD

Tabla utilizada para la programación de las librerías necesarias para el correcto funcionamiento de la pantalla LCD

TABLE OF COMMAND

| Instruction                | Instruction Code |     |     |     |     |     |     |     |     |     | Description   | Execution Time |
|----------------------------|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|----------------|
|                            | RS               | R/W | DB7 | DB6 | DB5 | DB4 | DB3 | DB2 | DB1 | DB0 |   |                |
| Clear Display              | 0                | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | Write "20H" to DDRAM and set DDRAM address to "00H" from AC   | 1.08 ms        |
| Return Home                | 0                | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | x   | Set DDRAM address to "00H" from AC and return cursor to its original position if shifted. The contents of DDRAM are not changed | 1.08 ms        |
| Entry Mode Set             | 0                | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | IC  | S   | Sets cursor move direction and specifies display shift. These operations are performed during data write and read.              | 26.3 µs        |
| Display ON/OFF             | 0                | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | D   | C   | B   | D=1 entire display on<br>C=1 cursor on<br>B=1 cursor position on  | 26.3 µs        |
| Function Set               | 0                | 0   | 0   | 0   | 1   | DL  | N   | DH  | IS2 | IS1 | DL interface data is 8/4 bits<br>N number of line is 2/1<br>DH double height font<br>IS[2:1] instruction table select           | 26.3 µs        |
| Set DDRAM Address          | 0                | 0   | 1   | AC6 | AC5 | AC4 | AC3 | AC2 | AC1 | AC0 | Set DDRAM address in address counter  | 26.3 µs        |
| Read Busy Flag and Address | 0                | 1   | BF  | AC6 | AC5 | AC4 | AC3 | AC2 | AC1 | AC0 | Whether during internal operation or not can be known by reading BF. The contents of address counter can also be read           | 0              |
| Write Data to RAM          | 1                | 0   | D7  | D6  | D5  | D4  | D3  | D2  | D1  | D0  | Write data into internal RAM (DDRAM/CGRAM/CONRAM)   | 26.3 µs        |
| Read Data from RAM         | 1                | 1   | D7  | D6  | D5  | D4  | D3  | D2  | D1  | D0  | Read data from internal RAM (DDRAM/CGRAM/CONRAM)  | 26.3 µs        |

Figura 77: Tabla de programación de la pantalla LCD

2.4.1.5 Radio si4455

Distribución de los pines del módulo de radio para la conexión del PCB.

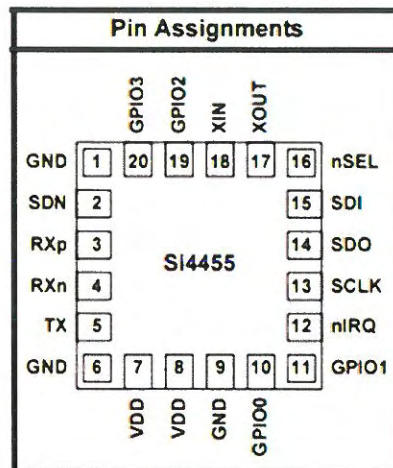


Figura 78: Pines del módulo de radio



2.4.1.6 PIC24FJ64GB004

Distribución de los pines del microcontrolador usado en la tarjeta de radiocontrol.

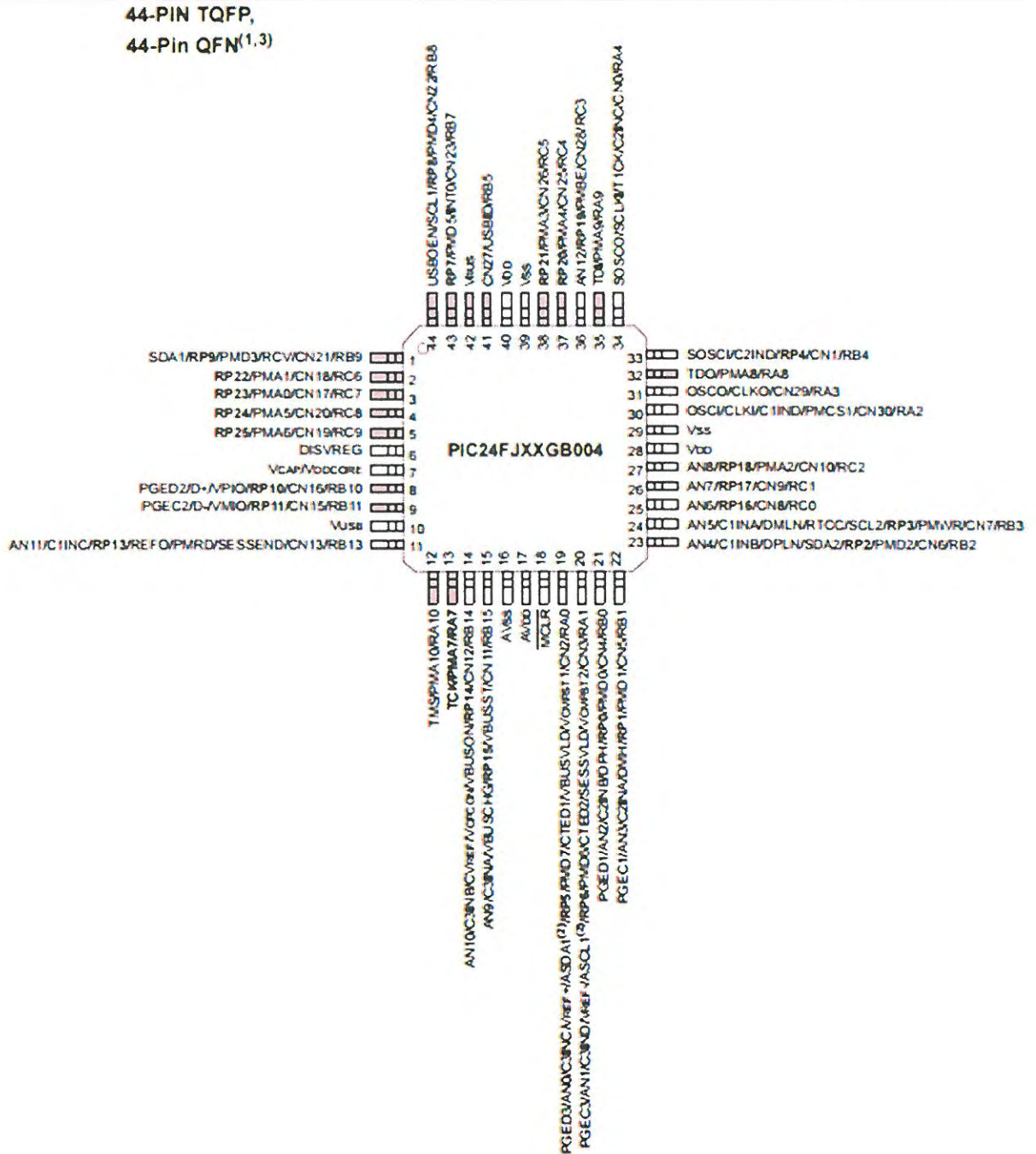


Figura 79: Distribución de pines del microcontrolador PIC24FJ64GB004

2.4.17 Porta pilas

Dimensiones del porta pilas. Se ha previsto un espacio para el porta pilas en la placa de PCB.

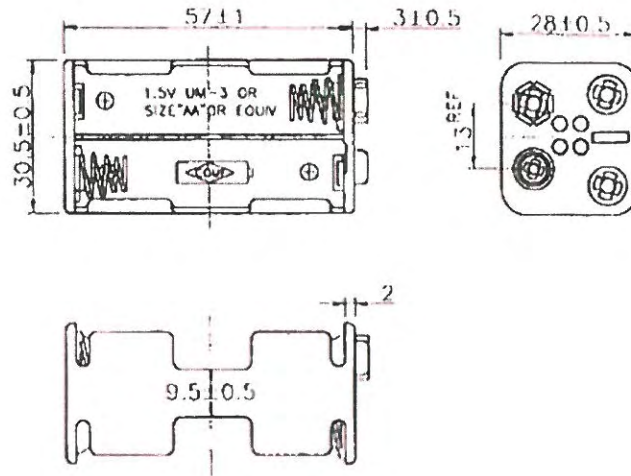


Figura 80: Dimensiones del porta pilas

Especificaciones del porta pilas, podemos ver el tipo de conector que lleva el porta pilas para conectarlo a la tarjeta PCB.

**Specifications:**

|                          |                         |
|--------------------------|-------------------------|
| No. of Batteries         | : 4                     |
| Battery Holder Mount     | : Panel                 |
| Battery Terminals        | : Snap Contact          |
| For Use With             | : AA Size Batteries     |
| Colour                   | : Black                 |
| External Depth           | : 30mm                  |
| External Length / Height | : 28mm                  |
| External Width           | : 60mm                  |
| Material                 | : Plastic               |
| Mounting Type            | : Snap-On               |
| Terminal Type            | : Snap-In               |
| Termination Method       | : Snap terminals        |
| Spring                   | : 0.7mm 65C Spring Wire |

Figura 81: Especificaciones del porta pilas

2.4.1.8 Reguladores de tensión

Distribución de pines para el regulador de 5V y para el regulador de 3V para la conexión en la tarjeta PCB.

**DSE Package  
1,5mm × 1,5mm WSON-6  
(Top View)**

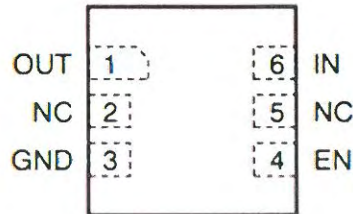


Figura 82: Pines del regulador TPS72730DSE

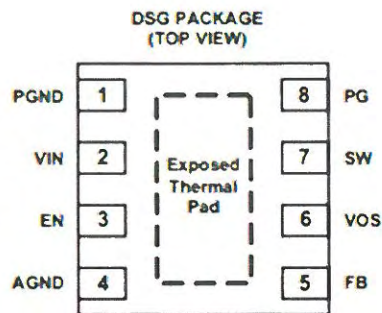


Figura 83: Pines del regulador TPS62163DSG

2.4.1.9 MOSFET

Características eléctricas del MOSFET utilizado para el driver de la bomba.

**On Characteristics**

|              |                                      |                                   |     |      |      |          |
|--------------|--------------------------------------|-----------------------------------|-----|------|------|----------|
| $V_{GS(th)}$ | Gate Threshold Voltage               | $V_{GS} = V_{DS}, I_D = 250\mu A$ | 2.5 | -    | 3.5  | V        |
| $R_{DS(on)}$ | Static Drain to Source On Resistance | $V_{GS} = 10V, I_D = 5A$          | -   | 0.32 | 0.38 | $\Omega$ |
| $g_{FS}$     | Forward Transconductance             | $V_{DS} = 20V, I_D = 5A$          | -   | 10   | -    | S        |

Figura 84: Características eléctricas del MOSFET FCP380N60E



### 2.4.2 PCB de la tarjeta de radiocontrol

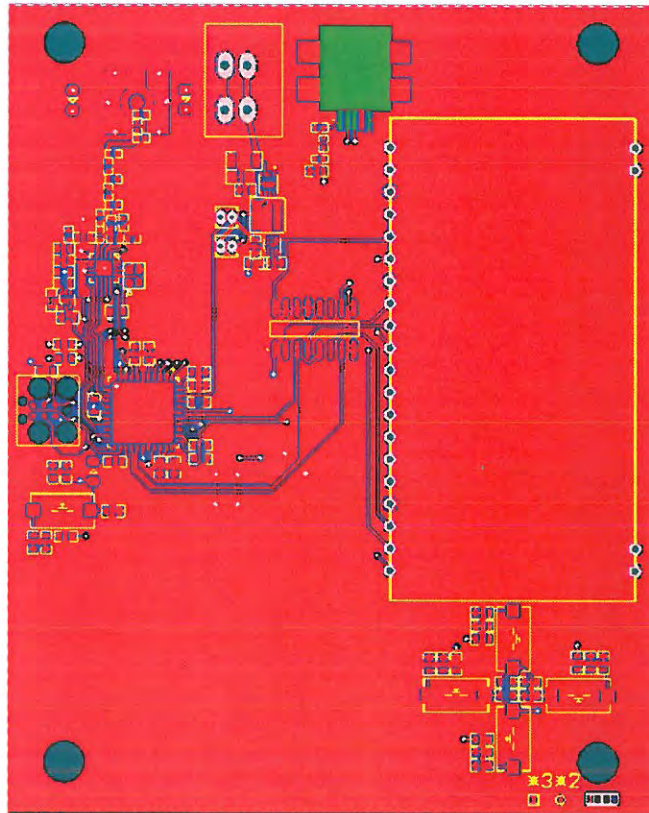


Figura 85: Capa superior de la tarjeta de radiocontrol

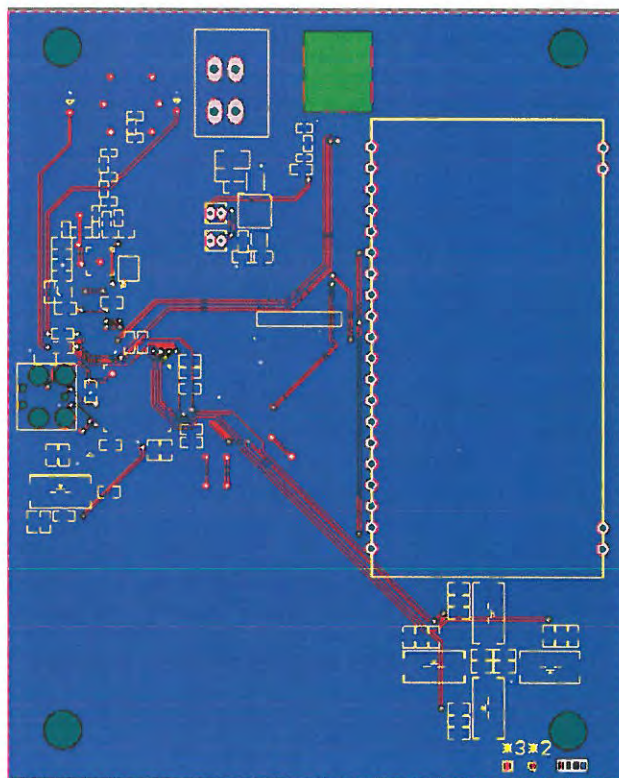


Figura 86: Capa inferior de la tarjeta de radiocontrol

## 3. Planos





*P.001 Depósito.*

*P.002 Sistema de sujeción.*

*P.003 Elementos tarjeta radiocontrol*

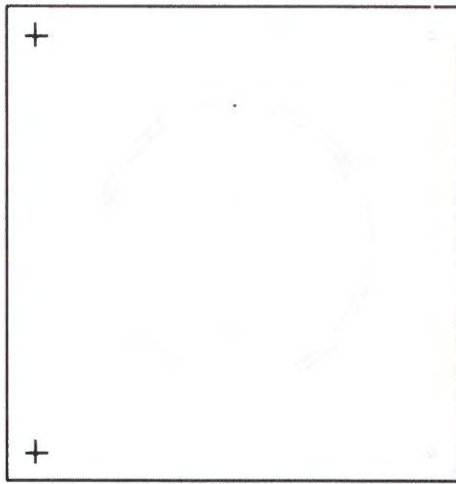
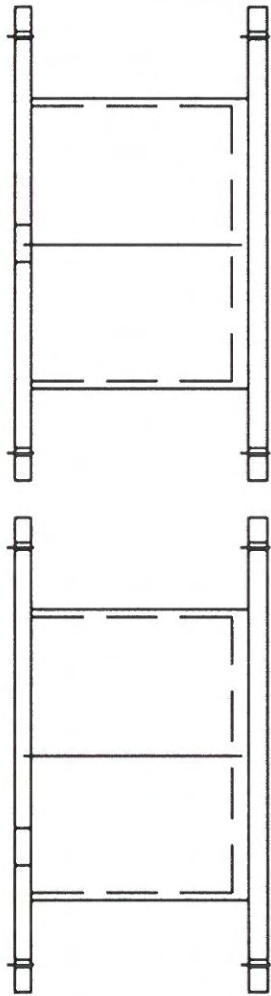
*P.004 Alimentación*

*P.005 Microcontrolador*

*P.006 Botones*

*P.007 LCD*

*P.008 Radio*



|            | Fecha    | Nombre       | Firmas |
|------------|----------|--------------|--------|
| Dibujado   | 6-7-2015 | Oscar Miguel |        |
| Comprobado |          |              |        |
| Escala     | 1:4      |              |        |



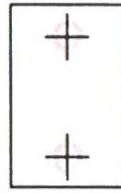
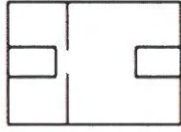
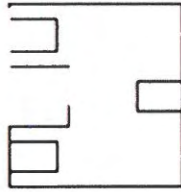
**UNIVERSITAT**  
**JAUME I**


Número P.001

Sustituye a

Sustituido por

*Depósito*



|   |          |              |        |   |
|---|----------|--------------|--------|---|
|   | Fecha    | Nombre       | Firmas | <br><b>UNIVERSITAT</b><br><b>JAUME I</b> |
| Dibujado  | 6-7-2015 | Oscar Miguel |        |   |
| Comprobado  |          |              |        |   |
| Escala  | 1:1      |              |        | Número P.002  |
| <p style="text-align: center;"><b>Sistema de sujeción</b></p> |          |              |        | Sustituye a   |
|   |          |              |        | Sustituido por  |