

## 2 Descripción de helicóptero DICOME

El helicóptero utilizado es un helicóptero de aeromodelismo, de serie esta controlado por un piloto vía radio, este proyecto pretende controlarlo de forma dual, en la que podamos entregar el control a la placa Hercules o realizarlo por el piloto desde la radio. Este cambio se haría desde el propio mando de radiocontrol.

El aparato consta de un rotor principal con cuatro palas, a las cuales se le podrá modificar el ángulo del colectivo (el cual nos dará la potencia de sustentación) por medio de un servomotor y el ángulo del cíclico (nos dará la dirección espacial; longitudinal y lateral) a través de movimientos conjugados por 2 servomotores, y una hélice de cola con rotor variable mandado por un servomotor.

Tanto la hélice principal como la de cola están comandadas por un motor de combustión interna. La alimentación de este motor esta controlada por un servomotor.

En total para controlar nuestro helicóptero tenemos 5 actuadores.



**Ilustración 7: Foto del helicóptero.**

## 2.1 Modelo aerodinámico

El modelo aerodinámico de un helicóptero puede ser descrito de la siguiente forma:

$$\frac{\delta}{\delta T}[X] = [A][X] + [B][U]$$

Siendo X el vector de estados, U el vector de control y A tiene la forma

$$A = \begin{bmatrix} X_u & X_w & X_q & -g & X_v & X_r & X_p & 0 \\ Z_u & Z_w & Z_q & -g\theta_0 & Z_v & Z_r & Z_p & -g\Phi_0 \\ M_u & M_w & M_q & 0 & M_v & M_r & M_p & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -\Phi_0 & 0 & 0 \\ Y_u & Y_w & Y_q & 0 & Y_v & Y_r & Y_p & g \\ N_u & N_w & N_q & 0 & N_v & N_r & N_p & 0 \\ L_u & L_w & L_q & 0 & L_v & L_r & L_p & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \theta_0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

G sería una matriz de 8x4 con las 4ª y 8ª columnas iguales a cero.

Los parámetros de la matriz A deberán ser identificados para cada helicóptero en particular, mediante pruebas que se realizarán en la plataforma.

## 2.2 Plataforma

La plataforma se utiliza para las pruebas de identificación y primeros ensayos. En estas pruebas se tratará de encontrar el modelo matemático del helicóptero así como los parámetros apropiados de los controladores. Esto se hará a base de pruebas en las que se combinen las excitaciones en alguno de sus actuadores con los controladores en otros, sacando conclusiones a través de los datos que la Hercules recibirá de sus sensores.

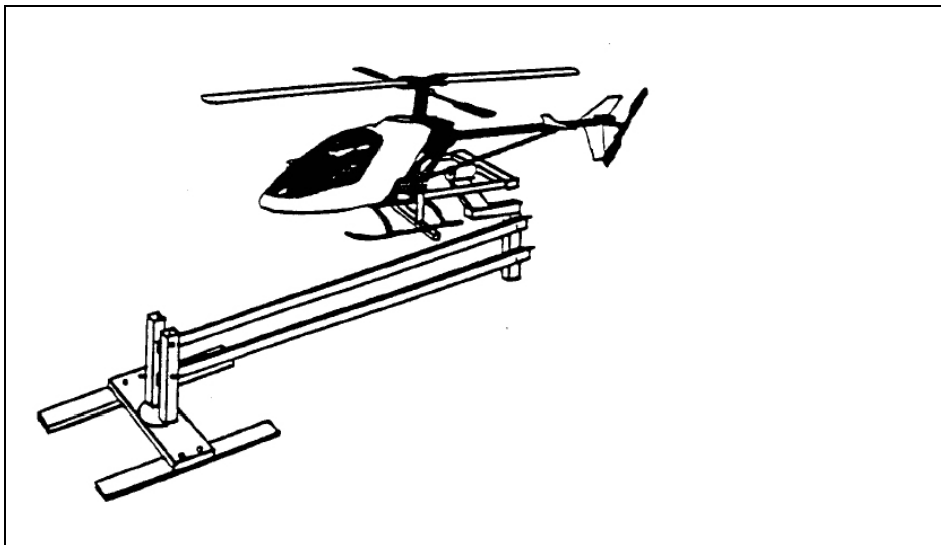
La plataforma consta de un brazo articulado en la que el helicóptero ira atornillado teniendo libres sus 6 grados de libertad.

Gracias a la plataforma se podrá restringir algún grado de libertad y lo que es mas importante proteger al helicóptero de caídas en las primeras fases de prueba.

La plataforma esta realizada en aluminio y consta de un brazo principal con movimientos rotatorio sobre eje vertical y rotatorio sobre eje horizontal, una plataforma con giro sobre eje horizontal donde ira el helicóptero

Consta además con suficiente distancia al suelo para que no haya interferencias aerodinámicas y poder simular el vuelo del helicóptero en altura.

Otra de las características de la plataforma son las zonas de fricción en las que se ha cuidado que el rozamiento sea mínimo a través de casquillos de nylon, ya que el rozamiento excesivo provocaba ruido eléctrico que interferían con la electrónica del helicóptero.



**Ilustración 8: Helicóptero en plataforma de pruebas.**

### 2.3 Batería

La batería ha utilizar tendrá que cumplir las siguientes necesidades;

Eléctricas;

La placa Hercules. consumo (5-28vdc 12W)

Los sensores:

IMU. Consumo (5.2-12vdc, 90mA)

Potencia total < 13W

Autonomía;

Debe ser mayor de 30 minutos (20 min. es lo que dura un deposito de combustible).

Deberá tener el mínimo peso y dimensiones, por lo que elegiremos la tecnología Li-poly, muy usada en helicópteros.

Una posible batería ha utilizar seria;

TP6000-3S3P

11.1V

6Ah

72A cont. (12C)

185x50x23mm

381gr

Por lo tanto con esta batería tendremos más de 3 horas de autonomía.

### 2.4 Servomotores

Los actuadores del helicóptero serán cinco servomotores que controlarán;

El caudal de combustible hacia el motor.

El colectivo.

El cíclico, controlado por dos servomotores, longitudinal y transversal.

El rotor de cola.

Estos servomotores funcionan a 1000 hz. y 5v variándose su ángulo de giro con el ancho de pulso que se le envía (PWM: pulse with modulation).

## 2.5 Sensores

Los sensores que tenemos instalados en el helicóptero en estos momentos son:

Imu: unidad de medida inercial.

Altímetro, medirá la altura del helicóptero

### 2.5.1 IMU

Unidad de medida inercial. El sensor utilizado es de la marca Microstrain y el modelo utilizado es el 3DM-G.

Lo utilizaremos en modo continuo, así cada vez que tenga datos nuevos los tendrá listos para ser leídos por la placa. El tiempo de recepción de datos varia en función de los datos que van a ser muestreados, teniendo además una pésima repetibilidad.

La siguiente tabla muestra los tiempos mínimos y máximos según que datos sean muestreados.

	Elementos	T min. (ms)	T max (ms)
Ángulos Euler	3	8	17
Matriz Quaternions	4	5	19
Vector de orientación			
Matriz datos	9	5	12

Estos datos han sido comprobados con un pequeño programa que mide el tiempo antes y después de cada una de las medidas, almacenando los máximos y los mínimos de una serie larga de muestreos (10.000 muestreos)

### 2.5.1.1 Especificaciones de la IMU 3DM-G

Orientation range (pitch, roll, yaw)	360° all axes (orientation matrix, quaternion) ± 90°, ± 180°, ± 180° (Euler angles)
Sensor range	gyros: ± 300°/sec FS accelerometers: ± 5 g FS magnetometers: ± 1.2 Gauss FS
A/D resolution	16 bits
Accelerometer nonlinearity Accelerometer bias stability*	0.2% 0.010 g
Gyro nonlinearity Gyro bias stability*	0.2% 0.7°/sec
Magnetometer nonlinearity Magnetometer bias stability*	0.4% 0.010 Gauss
Orientation resolution	<0.1° minimum
Repeatability	0.20°
Accuracy	± 0.5° typical for static test conditions ± 2.0° typical for dynamic (cyclic) test conditions & for arbitrary orientation angles
Output modes	matrix, quaternion, Euler angles, & nine scaled sensors with temperature
Digital outputs	serial RS-232 & RS-485 optional with software programming
Analog output option	4 channel, 0–5 volts full scale programmable analog outputs
Digital output rates	100 Hz for Euler, Matrix, Quaternion 350 Hz for nine orthogonal sensors only
Serial data rate	19.2/38.4/115.2 kbaud, software programmable
Supply voltage	5.2 VDC minimum, 12 VDC maximum
Supply current	65 mA
Connectors	one keyed LEMO, two for RS-485 option
Operating temp.	-40 to +70°C with enclosure -40 to +85°C without enclosure
Enclosure (w/tabs)	64 mm x 90 mm x 25 mm
Weight (grams)	75 grams with enclosure, 30 grams without enclosure
Shock limit	1000 g (unpowered), 500g (powered)

## 2.5.2 Altimetro

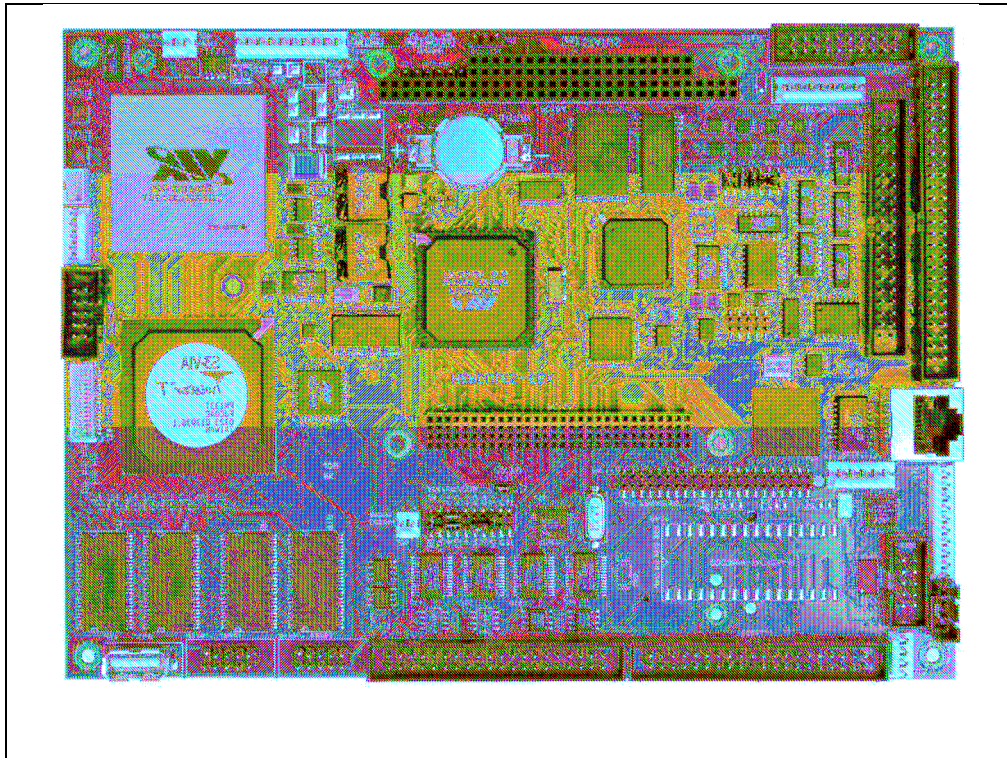
Durante la fase de pruebas utilizaremos un potenciómetro conectado con el brazo principal de la plataforma de manera que la altura sea una relación trigonométrica con el ángulo de la plataforma. La salida del potenciómetro se conectará a la entrada analógica de la placa Hercules, y haremos la conversión a valores digitales.

## 2.6 Hercules EBX

El ordenador de a bordo es la placa Hercules EBX, que funciona como un ordenador embebido al que se le conectan los sensores y los actuadores.

Los canales de entrada y salida de la CPU incluyen 4 puertos series (RS-232 y RS-485). La placa tiene un circuito de adquisición de datos (DAQ) que permite tener 32 E/S analógicas y 40 E/S digitales (4 de ellas son canales PWM).

Una característica importante es el driver de la placa (DSCud 5.7) el cual nos da funcionalidad para el uso y control de la placa, de sus puertos y de funciones muy útiles como el control del ancho de pulso (PWM) o la generación de interrupciones. Durante el vuelo no se le conectan periféricos como discos duros o CD por el problema de pesos y de las vibraciones generadas por el rotor, pero durante la puesta a punto si se tienen conectados periféricos, lo que lo convierte en un ordenador con las funcionalidades típicas de un PC, incluso conectado a internet.



**Ilustración 9: Placa Hercules EBX.**



## 2.6.1 Datasheet

SPECIFICATIONS	
<b>CPU</b>	
Processor	VIA Eden P-3, 550-750MHz
Display type	CRT and LDS LCD
Resolution	Up to 1280 x 1024 x 32 bits per pixel
Memory	8/16/32MB shared with system memory
LCD interface	36-bit TFT / DSTN
SDRAM memory	128-256MB on board
Flash memory	2MB
System I/O	4 USB 1.1, PS/2 keyboard/mouse
Serial ports	2 fixed RS-232 or RS-485 / 2 configurable RS-232/485
Max data rate	460.8kbps all ports
IDE connections	1 44-pin connector for flashdisk; 1 40-pin dual-channel UDMA-100; Compact flash socket
Ethernet	10/100Mbps; IEEE802.3 compatible
Serial console	Selectable COM1 / COM2
Floppy drive	USB legacy support
Parallel port	Not present
PC/104+ bus	+5V/+3.3V selectable
<b>DATA ACQUISITION CIRCUITRY</b>	
Analog inputs	32, 16-bit A/D resolution
Max sample rate	250KHz total
Input modes	Single-ended, differential
Input ranges	±10V, ±5V, ±2.5V, ±1.25V / 0-10V, 0-5V, 0-2.5V, 0-1.25V
Accuracy	< ±2LSB after auto calibration
Analog outputs	4, 12-bit D/A resolution
Settling time	7µs to ±0.1%
Output current	±5mA max, 2kΩ min load
Digital I/O	40 lines, 5V logic compatible
Direction	Programmable in 8-bit ports
Output current	0-12mA max; 1-4mA max
Counter/timers	1 24-bit A/D sample rate control; 1 16-bit general purpose
<b>POWER SUPPLY</b>	
Input voltage	5-28VDC standard, 20-45VDC optional
Output power	40W total, 30W available
Power consumption	10W max
Output voltages	+5V, +3.3V (on PCI bus)
Switched outputs	+5V, +12V, +3.3V
<b>GENERAL</b>	
Dimensions	8.00" x 5.75" EBC format
Operating temp.	-40 to 85°C
Weight	10oz / 285g

Ilustración 10: Datasheet de la Hercules

## 2.6.2 Descripción características

### CPU

**Processor** VIA Eden P-3, 550MHz (fanless)

SDRAM memory 128Flash memory 2MB

**System I/O** 4 USB 1.1, PS/2 kbd/mouse

**Serial ports** 2 fixed RS-232 or RS-485

2 configurable RS-232/485

**Max data rate** 460.8kbps all ports

**IDE connections** 1 44-pin connector for flashdisk

1 40-pin dual-channel UDMA-100

Compact flash socket

**Ethernet** 10/100Mbps

**Serial console** Selectable COM1 / COM2

**Floppy Drive** USB legacy support

Parallel Port Not present

**PC/104+ bus** +5V/+3.3V selectable

Data Acquisition Circuitry

**Analog inputs** 32, 16-bit A/D resolution

Max sample rate 250KHz total

**Input modes** Single-ended, differential

**Input ranges** +/-10V, +/-5V, +/-2.5V, +/-1.25V, 0-10V, 0-5V, 0-2.5V, 0-1.25V

**Accuracy** < +/-2LSB after autocalibration

**Analog outputs** 4, 12-bit D/A resolution

**Settling time** 10uS to +/-0.01%

Input Impedance  $10^{13}$  ohms

**Output current** +/-5mA max, 2kOhm min load

**Digital I/O** 40 lines, 5V logic compatible with ESD protection

**Direction** Programmable in 8-bit ports

**Output current** 0: 12mA max; 1: -4mA max

**Counter/timers** 1 24-bit A/D sample rate control

1 16-bit general purpose use

**PWM** 4 independent programmable Pulse-Width Modulation outputs

Power supply

**Input voltage** 5-28VDC std., 20-48VDC opt.

**Total output power** 40W total (30W, 28W or 24W spare based on board speed grade)

**Power consumption** 12W at 550MHz and 16W at 750MHz

**Output voltages** +5V, +3.3V (on PCI bus)

Switched outputs +5V, +12V, +3.3V

General

**Dimensions** 8.00" x 5.75" EBX format

Weight 285g

Operating temp. -40 to 85°C

### 2.6.3 Software

#### 2.6.3.1 So disponibles

El sistema operativo utilizado es Linux Debian 3.0 r4 (woody).

Este va instalado tanto en la flash disk como en el disco duro auxiliar. Al arrancar LILO (el gestor de arranque de debian) nos preguntará con que Sistema Operativo queremos arrancar.

Utilizaremos la opción del disco duro cuando lo tengamos conectado haciendo pruebas sin arrancar el rotor del helicóptero, así podremos utilizar el entorno grafico.

Utilizaremos la opción de la flash disk una vez que hallamos desconectado los periféricos, y trabajaremos en modo comando o incluso sin la pantalla, ratón y teclado, utilizando la teleoperación desde el ordenador de tierra.

Para ello programaremos y compilaremos arrancando desde el disco duro y una testados y validados pasaremos los archivos ejecutables a la flash disk.

#### 2.6.3.2 Como se programa

Utilizamos el lenguaje de programación C bajo el entorno de linux, utilizando para compilar la utilidad Make.

Además de las ordenes de C también se utilizan las ordenes de distintas librerías y las ordenes propias del driver de la placa DSCUD 5.7., como son las que nos crean las interrupciones, la toma de datos AD, las salidas PWM y la toma de tiempo.

Pondremos el programa o programas a utilizar en una carpeta, incluyéndose en esta los siguientes archivos;

Dscud.h (para los drivers de la placa)

M3dmgUtils.c (para el funcionamiento de la IMU)

M3dmgSerialLinux.c

M3dmgAdapter.c

M3dmgAdapter.h

M3dmgutils.h

M3dmgSerial.h

M3dmgErrors.h

En el make haremos referencia a las siguientes librerías;

```
LIB=-L/usr/local/dscud5 -L/opt/dscud5 -ldscud5 -pthread -lm
```

```
INC=-I/usr/local/dscud5 -I/opt/dscud5
```

Al hacer make se ejecutara la orden de compilación y crearemos un archivo ejecutable con el nombre de main y en el que han participado todos los programas.c

Con la orden make clean borraremos el ejecutable y así podremos compilar otra vez haciendo make

Para ejecutar el programa solo tendremos que teclear ./main