



Master en Ingeniería de Sistemas y Control

SUBSISTEMA DE CONTROL DE ACTITUD (ACS) DE UN CUBESAT

Autor: Miguel Ángel López Luesma

Director: Segundo Esteban San Román



Autorización

Una firma manuscrita en tinta azul que parece ser 'ML'.

Autorizo a la Universidad Complutense y a la UNED a difundir y utilizar con fines académicos, no comerciales y mencionando expresamente a su autor, tanto la memoria de este Trabajo Fin de Máster, como el código, la documentación desarrollada.

Firmado: Miguel A. López Luesma



Máster en Ingeniería de Sistemas y Control

Subsistema de Control de Actitud (ACS) de un Cubesat

Autor: Miguel Ángel López Luesma

Director: Segundo Esteban San Román

Resumen

La determinación de actitud (orientación) satelital en la actualidad se lleva a cabo, entre otros métodos, por Sensores Estelares (Star Trackers). El principio de funcionamiento de dichos sensores se basa en la determinación de puntos brillantes en una imagen estelar e identificación de estrellas a través de la comparación con un catálogo de estelar.

El objetivo del proyecto es el diseño del ACS de un cubesat acorde a los criterios indicados en la especificación "Documentos de Especificaciones Técnicas del S/S de ACS – HUMSAT Issue 1.0" facilitados por el director del proyecto.

El proyecto consiste en el diseño de una unidad hardware que deberá ser capaz de almacenar una base de datos estelar, realizar mediciones de señales estelares e implementar algoritmos clásicos de determinación de actitud.

Una vez determinada la actitud del satélite es necesario corregirla, es decir controlarla. Para poder actuar sobre la actitud de la aeronave se utilizarán y diseñarán magnetopares, con toda la electrónica asociada.

Además, para poder actuar con magnetopares, es necesario conocer el campo magnético al que está sometido el satélite. Para ello se utilizará un magnetómetro, que también será incluido en el diseño del hardware.

Debido al reducido tamaño de los Cubesats, se ha estudiado la posibilidad de incluir todo el hardware en una única tarjeta (PCI), lo cual puede realizarse como se indica en el capítulo 2. Se han colocado conectores para algunos de los elementos más críticos: magnetómetro, magnetopares, cámara, pues en muchas ocasiones es necesario reubicarlos en otras zonas del satélite.

Se determinó la eficiencia del control del sensor estelar en función de la velocidad de giro del satélite. Durante el transcurso del proyecto fue necesaria la realización de herramientas hardware para realizar las pruebas y validaciones correspondientes (capítulo 6).

Palabras claves:

Star tracker, sensor estelar, imagen estelares, control de actitud, reconocimiento de imagen.

Abstract

Determination of satellite guidance currently performed, among other methods, by Star Guidance Sensors (Star Trackers). The operating principle of these sensors is based on crossing captured stars images with preprocessed star catalogs.

The objective of the project is the design of a cubesat ACS according to the criteria indicated in the specification "Documents Technical Specifications S / S ACS - HUMSAT Issue 1.0" provided by the project manager

The project consists of the design of a hardware unit that should be able to store a database of stellar data, measurements of stellar signals and stored for later comparison with the database stellar. The hardware must run classic attitude determination algorithms.

Done such a attitude determination will be necessary to control the attitude of satellite. Magneto-torques will be used to act on the attitude of the satellite. These actuators has been designed with the associated electronic.

In addition, to perform attitude control of the spacecraft the magnetic field must be measured using a magnetometer.. These elements have also been included in the design of hardware.

We have studied the possibility of including all hardware on a single card (PCI), which can be done as described in Chapter 2. There is also the possibility of positioning the magnetopares elsewhere in the ship, to which is arranged a 6-pin connector, two for each of them.

Control efficiency star sensor according to the rotational speed of the satellite is determined. During the course of the project performing hardware was necessary tools to perform appropriate testing and validation (Chapter 6).

Keywords:

Star tracker stellar sensor, stellar image, attitude control, image recognition.



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	3
2. HARDWARE del ACS.....	17
3. ESQUEMAS ELÉCTRICOS DEL ACS.....	75
4. SOFTWARE BASE del ACS.....	79
5. SOFTWARE APLICACIÓN del ACS.....	91
6. SISTEMAS DE PRUEBAS del ACS.....	105
7. CONCLUSIONES FINALES.....	115
8. BIBLIOGRAFÍA.....	123
9. ANEXOS.....	127



1. INTRODUCCIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN

La orientación de una nave es un tema de máxima prioridad en la mayoría de misiones espaciales. El subsistema encargado de ello se denomina Subsistema de Control de Actitud (ACS). Lo más crítico y costoso suele ser determinar su actitud u orientación. En estos casos se habla del Subsistema de Determinación y Control de Actitud (ADCS).

En las aeronaves el ACS debe ser un sistema totalmente autónomo que debe :

- calcular la orientación de la aeronave, y
- enviar comandos a los actuadores para mantener un apuntamiento estable.

En algunas misiones complejas el ACS da soporte al Control Orbital, encargado de mantener la órbita del satélite, denominándose en estos casos AOCS.

Para la generación de comandos y actividades relacionadas con el control, es importante considerar las alteraciones que pueden provocar que un satélite se comporte de una forma no deseada. Las alteraciones se conocen como perturbaciones, debido a que generan pares mecánicos no deseados, que provocan rotaciones que alteran el funcionamiento ideal del ACS del satélite.

Controlar la actitud de un vehículo requiere

- (a) sensores para determinar la actitud,
- (b) actuadores para aplicar pares de fuerza que reorienten la nave y
- (c) algoritmos para comandar los actuadores.

Se pueden dar muchos casos de apuntamiento en las misiones espaciales, desde simples apuntamientos al Sol para conseguir energía, hasta apuntamiento de seguimiento de puntos terrestres. Uno de los apuntamientos más comunes en los satélites de observación, es el apuntamiento Nadir, es decir, apuntamiento hacia el centro de la tierra.

En un apuntamiento Nadir el satélite debe girar sobre si mismo para mantener su apuntamiento hacia la Tierra, compensando las perturbaciones que pueden aparecer, que en una órbita baja son principalmente magnéticas, solares y gravitatorias.

Desde el siglo XVI hasta el día de hoy, han venido siendo desarrollados diferentes clases de equipos de medición y registro de señales estelares, permitiendo el estudio y análisis de todo el universo por medio de la información capturada. Estas señales se ubican a lo largo de todo el espectro electromagnético.

La necesidad de diseñar dispositivos de adquisición de señales estelares, con mayores prestaciones, se fundamenta en la naturaleza de las señales estudiadas. Al captar señales estelares (sin importar de que tipo), con la calidad suficiente para obtener datos precisos y por ende conclusiones fiables, se deben aumentar los tiempos de captura. Esto es debido a que las señales captadas son muy débiles y deterioradas a causa de haber recorrido las enormes distancias que las separan de los detectores y atravesado variedad de medios como el espacio interestelar y/o la atmósfera terrestre.

Al aumentar los tiempos de captura, se debe considerar la dinámica propia del entorno, debido a los movimientos terrestres y orbitales, hay que controlar y sintonizar de manera adecuada todo el instrumental, si se quiere mantener el equipo apuntando hacia la zona de estudio.

Desde que se comenzaron a desarrollar los diferentes equipos de adquisición de datos estelares, nacieron dos situaciones que han venido siendo fuente de estudio de diferentes investigadores, quienes han logrado avances significativos en el área de la instrumentación en astronomía y astrofísica.

Las dos situaciones a las que se hace referencia son posicionar adecuadamente los instrumentos de medida y mantenerlos direccionados hacia la fuente de estudio, sin importar la dinámica del medio en el que se encuentre.

El presente proyecto trata de realizar el diseño hardware del ACS de un Cubesat, el cual proporciona un estándar para diseñar picosatélites y que se utilizará en el proyecto Humsat [17], reduciendo costes y tiempos de desarrollo e incrementando la accesibilidad al espacio. El Cubesat en cuestión posee celdas de 10 centímetros de lado y un peso máximo de 1.33 kg por celda, utilizando en este caso tres celdas. Dicho proyecto consiste en lanzar una constelación de satélites de bajo coste diseñados por estudiantes con fines humanitarios [17].

1.2 CATÁLOGOS ESTELARES

Al realizar un estudio sistemático del cielo, se hace necesario el uso de algún tipo de base de datos, la cual contenga información básica de las estrellas y demás cuerpos celestes estudiados; esta información ha de ser fiable y con un margen de error que no supere el de los equipos de observación.

A partir de esto surgió la necesidad de agrupar dicha información en lo que hoy conocemos como catálogos estelares. Estos catálogos ya eran conocidos desde la época de Hiparco de Nicea, a quién se le atribuye la creación del primer catálogo estelar del que se tenga conocimiento.

Tuvieron que pasar varios siglos hasta que se lograron conformar catálogos bastante completos, los cuales fueron posibles gracias a la invención del telescopio y del importante trabajo realizado por astrónomos como Charles Messier (1730-1817), Johannes Bayer (1572-1625) y Friedrich Argelander (1799- 1875), entre otros.

Actualmente agencias espaciales como la NASA y la ESA realizan esfuerzos en conjunto e invierten millones de dólares en la creación de catálogos estelares, como el Hipparcos que contiene la información astrométrica y fotométrica de 118209 estrellas o el Tycho que contiene la información de 2.5 millones de estrellas.

El uso de los catálogos estelares es muy importante, ya que permite conocer información básica de las estrellas como sus coordenadas, magnitudes estelares, distancias y clasificaciones entre otras cosas.

Hay que tener en cuenta que los datos de los catálogos estelares deben ser referidos a una fecha y han de poseer un factor de corrección, pues debido a los movimientos propios de las estrellas, estos deben ser corregidos y actualizados.

Uno de los catálogos estelares es el utilizado en el diseño de monturas de telescopio [2] catálogo estelar HYG (que contiene casi 120.000 estrellas) y otro catálogo de objetos Messier, que contiene algunas de las galaxias, nebulosas y cúmulos más famosos del hemisferio norte.

El usuario puede generar su propio listado a partir de estos catálogos completos, eligiendo aquellos objetos de su interés

1.3 UNIDADES Y FUNCIONES DEL ACS

El diagrama de bloques general del sistema ACS de un Satélite es el representado en la figura 1.1.

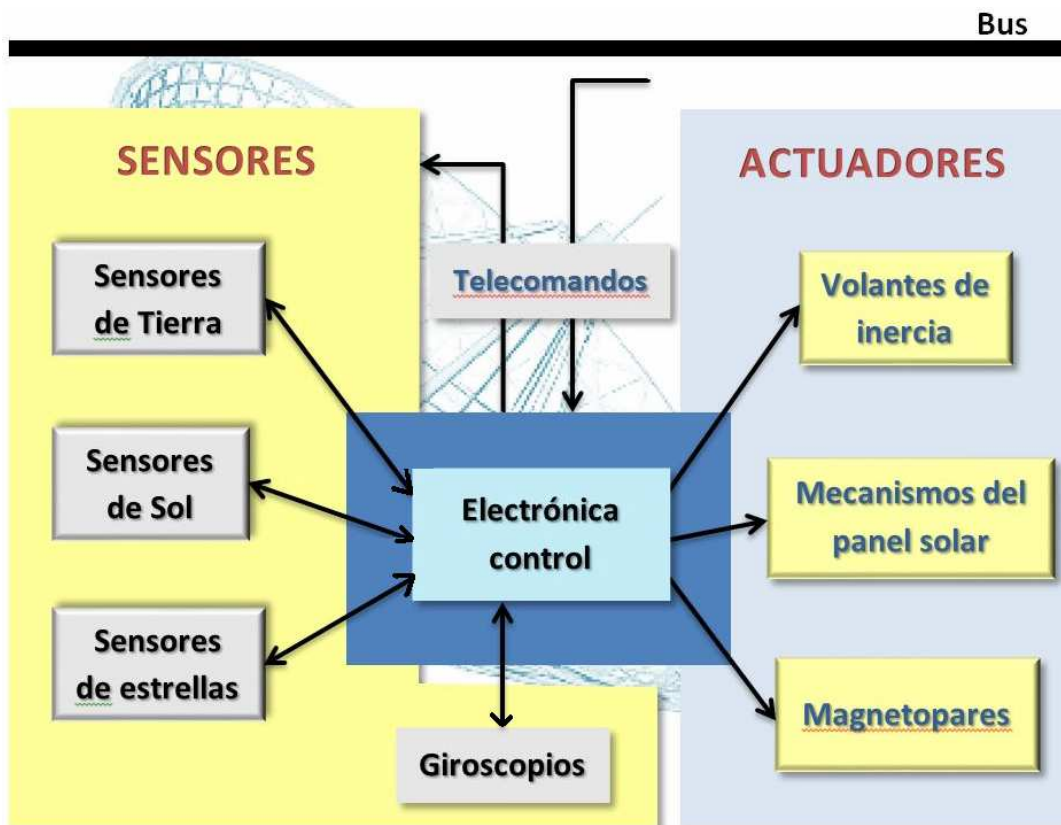


Figura 1.1. Diagrama de bloques del sistema ACS de un Satélite

El funcionamiento de un ACS es un ciclo que consta de los puntos indicados a continuación:

- Se presentan pares perturbadores, que generan un cambio de orientación en el satélite.
- Los sensores encargados de ello detectan un error de orientación, debido a perturbaciones o que todavía no se ha conseguido el apuntamiento deseado, enviando una señal a la unidad de control.
- La unidad de control calcula y envía las señales de control adecuadas a los actuadores con la finalidad de corregir la orientación, lo cual puede traducirse como el par a aplicar en

el eje correspondiente. Los actuadores generan pares con el fin de conseguir la orientación deseada.

d. Se corrige la orientación, hasta llegar a la deseada.

Este proceso se repite cada vez que se produce un error de orientación.

Funciones el subsistema ACS

Control de actitud

- Mantener la actitud nominal del satélite (orientación)
- Corrección de la actitud a bordo del satélite en modo lazo-cerrado (2 Hz a 20 Hz)

Procesado de Telecomandos

- Encendido/apagado de unidades, maniobras de actitud y reconfiguración.
- Estado de unidades (estado y potencia), lecturas de sensores, lista de comando procesados.

Detección de fallos, aislamiento y recuperación (FDIR)

Ejecución de maniobras (secuencias de comandos en un tiempo definido)

Determinación de la orientación

- Detectores del Sol (usados sobre todo durante la puesta en órbita)
- Detectores de infrarrojos del borde de la tierra (cuerpo negro a 255K rodeado por 4K)
- Detectores Estelares (relacionan la radiación estelar con un mapa celeste)
- Magnetómetros (campo magnético terrestre)
- Sensores de RF
- Centrales inerciales (girómetros y acelerómetros)

Comparación con los ejes de referencia

Corrección de la orientación generando pares correctores

- A bordo en lazo cerrado
- Usando thrusters (toberas), giroscopios, volantes de inercia o magnetopares (control activo)
- Usando la presión de la radiación solar o el gradiente gravitatorio (control pasivo)

1.4 SENSORES

Los sensores de orientación, nos proporcionan la magnitud en grados, que un satélite experimenta en órbita. Lo más común es tener la orientación en los tres ejes de rotación del satélite.

Sensores solares

Los sensores solares determinan la orientación del satélite mediante la medición del vector sol en el sistema de referencia del satélite.

Podemos distinguir entre sensores solares gruesos y finos.

Los primeros consisten en celdas solares que se encargan de entregar información al sistema de control de la posición angular del satélite, a fin de orientar los paneles solares hacia el Sol.

Los sensores solares finos toman fotos con un campo visual (FOV) grande (del orden de 120°) para seguir al sol en las imágenes. Llegan a precisiones del orden de algunos arco-segundos.

Sensores de horizonte

La orientación relativa a la tierra es de gran importancia en determinadas aplicaciones como comunicaciones, meteorología o navegación. Para un satélite en órbita alrededor de la Tierra esta es el segundo objeto más brillante, sin embargo no basta con determinar su presencia ya que el ángulo visto es demasiado grande para poder considerarlo un punto. Por tanto para determinar la posición es necesario localizar el horizonte, para lo cual hay que realizar un barrido con el fin de detectarla.

Un sensor de horizonte normalmente esta formado por cuatro componentes básicos: un mecanismo de barrido, un sistema óptico, un detector de radiación y una unidad de procesamiento. Se suelen clasificar en función del sistema de barrido. Tenemos dos tipos principales de sensores: *Sensor de horizonte fijo*, es el sistema mas sencillo. Son sensores baratos y fiables. Solo son utilizables en satélites que se encuentran girando ya que el barrido se realiza mediante el propio giro del satélite.

Sensor panorámico de horizonte, se diferencian de los anteriores en poseer un mecanismo de barrido, este mecanismo consiste en un espejo en rotación continua que enfoca un rayo de luz en un elemento llamado bolómetro (dispositivo que determina la energía de la radiación incidente). La rotación hace que el dispositivo barra un cono completo, pudiendo medirse cuando la señal del horizonte terrestre aparece y desaparece

Sensores estelares

Los sensores estelares miden coordenadas de estrellas en el sistema de referencia del satélite y proveen información de orientación al comparar las coordenadas medidas con las direcciones estelares obtenidas de un catálogo estelar.

La medición de las coordenadas de estrellas en el sistema de referencia del satélite tiene como primera etapa la toma de una foto estelar con ángulo de campo visual (field of view) del orden de 20° . Luego se eligen las estrellas más brillantes de la foto para identificar la imagen estelar en el catálogo. En general, los sensores estelares son los más precisos, llegando a precisiones inferiores al arcosegundo en los mejores casos. Además son versátiles, por lo que se adaptan a diversas misiones espaciales. Estas fuertes ventajas tienen un costo: los sensores estelares, en relación a otros sensores, son pesados, caros, requieren mucho software y consumen mucha potencia. Otra desventaja es que son susceptibles a errores debido a la sensibilidad a la luz del sol reflejada por el satélite o por los gases de escape de los propulsores. También hay otras fuentes de confusión para el algoritmo de identificación: planetas, cometas, otros satélites cercanos y cualquier objeto extraño que se presente en el FOV. En la siguiente sección se expone el tema de sensores estelares.

Magnetómetros

Proveen la magnitud y dirección del campo magnético terrestre. Los más simples consisten de tres bobinas ubicadas a 90° (magnetómetros de inducción) y una electrónica de procesamiento de señal. Son confiables, livianos, y tienen un bajo requerimiento de potencia. Como desventaja, no son muy precisos, tienen un error del orden de 0.5° .

Giróscopos y Girómetros

Son sensores relativos (necesitan la orientación inicial para funcionar). Detectan rotación en los tres ejes. Clásicamente, se constituyen de una masa rotante, pero existen giróscopos laser y de resonancia. Los de tipo laser utilizan luz coherente reflejada en un camino cerrado. Los de resonancia utilizan un cristal con forma de copa.

1.5 ACTUADORES

Los actuadores son dispositivos capaces de generar pares mecánicos en un satélite cambiando la dinámica del sistema.

Ruedas de inercia/reacción

Son motores eléctricos con una rueda montada sobre su eje. La diferencia entre ruedas de inercia o reacción recae en la velocidad a la que operan. Las ruedas de inercia trabajan a una velocidad constante, y las ruedas de reacción están en reposo y cambian su velocidad para hacer rotar al satélite. El par es generado eléctricamente en el motor haciendo que la rueda se acelere en la dirección contraria a la que tiene que hacer girar al eje que se está corrigiendo. Proporcionan control rápido y exacto aunque tienen la desventaja que pueden llegar a ser masivas, costosas y requieren gran cantidad de energía.

Giróscopo de control de momentos

Funcionan de manera similar a las ruedas de inercia o reacción. Este sistema consiste de un rotor y una o más suspensiones de Cardán motorizadas que cambian el momento angular del motor. Tienen la capacidad de controlar los tres ejes de rotación del satélite.

Magnetopares (Bobinados magnéticos)

Crean un campo magnético que interactúa con el campo magnético terrestre generando un par. Esto se logra con la corriente que fluye por un embobinado que generalmente tiene núcleo de algún material ferromagnético para aumentar la permeabilidad y por tanto, el par que pueden proporcionar. Un ejemplo de este tipo de bobinas puede verse en la Figura 1.2.a.

Estos dispositivos pueden ser colocados en cada uno de los ejes del satélite para el caso de los embobinados tubulares, o alrededor de su estructura con la finalidad de aprovechar un área mayor en la bobina y crear un par mayor (figura 1.2.b).

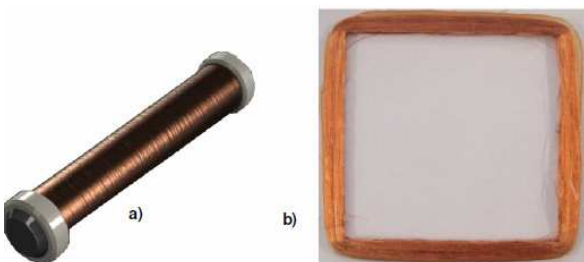


Figura 1.2 Bobinados magnéticos

1.6 MISIÓN DEL SISTEMA

El propósito de este proyecto es realizar una de las actividades propuestas en el **sistema HumSAT** (www.humsat.org), basado en el desarrollo de un **sistema de picosatélites de tipo cubesat para conectar un conjunto de usuarios con una red de sensores distribuidos en todo el mundo que previamente han desplegado**. El proyecto está auspiciado por la Agencia Espacial Europea dentro de su iniciativa [GEOID](#).

El proyecto está liderado por la Universidad de Vigo y es una colaboración internacional en la que el Grupo de Investigación Espacial de la Universidad de Alcalá ([SRG-UAH](#)) participa con:

- Un cubesat tipo 3U que formará parte de la constelación del sistema HUMSAT
- Un nodo del segmento terreno de la red GENSO
- Un demostrador de sensor de usuario.

Los sensores serán responsables de adquirir datos de usuario y transmitirlos a los satélites a través de una interfaz estándar de radio. Sin embargo, el objetivo es emplear la experiencia y conocimientos adquiridos para desplegar tres sensores en Nicaragua, que es un país especialmente sensible a desastres naturales y por tanto es un usuario potencial de los servicios ofrecidos por HUMSAT.

Para recuperar los datos de los satélites, la red **GENSO** (Global Educational Network for Satellite Operations) de estaciones de tierra será uno de los componentes esenciales del sistema de distribución de datos. Varias universidades de diferentes estados miembros de la ESA (Agencia Espacial Europea), Japón y Estados Unidos están cooperando en este proyecto, cuyo segundo lanzamiento (Release 2 ó R2) se espera que provea de las funcionalidades que el sistema HumSAT requiere. Para mayor información del proyecto GENSO, visite el sitio Web www.genso.org

Una vez que los datos han sido transportados por los satélites de HumSAT, los usuarios autorizados podrán acceder a ellos a través de una conexión de Internet. [GEOID](#) (GENSO Experimental Orbital Initial Demonstration) es el proyecto de la ESA con el que se pretende validar el sistema GENSO. Para ello se servirá de los satélites de HUMSAT.

En la siguiente página web puede observarse una visión general del concepto del sistema HumSAT (<http://humsat-uah.org/>). Las características generales pueden resumirse las siguientes líneas:

- Cubesat de bajo coste, elementos COST.
- Órbita baja con eclipse.
- Limitaciones de espacio, peso, y potencia.
- Apuntamiento Nadir ($\pm 15^\circ$) para comunicaciones.
- Nueva carga útil es un telescopio científico, que requiere un Zenital ($\pm 1^\circ$).

Previamente a definir los requisitos del sistema ACS, recordemos que un sistema ACS (Attitude Control System en inglés o sistema de control de actitud) es un sistema que controla la actitud u orientación de un objeto aeroespacial, como puede ser un avión o un satélite.

Se quiere que con este sistema de control el satélite consiga un apuntamiento al eje Nadir con un error máximo de 15-20 grados. El eje Nadir se define como un vector cuya dirección es la línea que une el satélite y el centro terrestre y cuyo sentido apunta hacia este último.

Un requisito añadido con posterioridad es conseguir un apuntamiento estelar con una precisión de $\pm 1^\circ$, para un experimento científico que consiste en un telescopio científico.

Para afrontar el problema del apuntamiento, se ha optado por utilizar un sistema basado en generar dipolos magnéticos que contra el campo magnético terrestre hacen que aparezcan pares mecánicos que giran el satélite. El actuador que genera dicho dipolo se denomina magnetopar. También será necesario medir el campo magnético terrestre mediante un magnetómetro.

Respecto a la actuación del ACS, en algunas misiones de cubesats (ej. INTA-Optos) se utilizan ruedas de reacción. Las ruedas permiten realizar una actuación flexible y cómoda, pero tienen el problema del consumo de potencia, saturaciones por lo que es necesario descargarlas con otros actuadores y del frenado angular, lo que no permite una desactivación instantánea. Al ser una órbita baja, en nuestra misión se pueden utilizar magnetopares como actuadores. Una ventaja de estos frente a las ruedas es que cuando haya problemas de potencia, por ejemplo en la zona de eclipse, se pueden desactivar inmediatamente. El inconveniente es que el control se complica, no permiten una actuación holonómica, es decir no permiten generar pares en todas las direcciones.

La elección de un control por campo magnético se ha hecho debido a una serie de razones:

Coste: Los actuadores son sistemas relativamente baratos y además se pueden fabricar con facilidad.

Espacio: Al ser un satélite muy pequeño, es especialmente interesante utilizar métodos de control de actitud lo más pequeños posible tanto en espacio como en peso. Un control por campo magnético sólo necesitará una PCI (Placa de Circuito Impreso, donde se sitúan los componentes del sistema ACS).

Energía: La alimentación que tendrá el satélite es muy limitada, en especial si no incide la luz solar sobre él (situación de eclipse) lo cual hace que si se utiliza un sistema que necesite mucha potencia no se pueda actuar en esta zona. También se puede activar y desactivar de forma inmediata, a diferencia de otros actuadores como las ruedas directoras.

Inagotable: Este sistema puede actuar siempre que las baterías proporcionen energía suficiente y no necesita masa adicional, a diferencia de propulsores.

Otro factor a tener en cuenta en el diseño hardware es el rango de temperaturas que soportarán los componentes electrónicos que constituyen el ACS, en su funcionamiento normal. En las órbitas polares bajas con eclipse y periodos orbitales inferiores a los 100 minutos, la inercia de temperatura en el interior del satélite entra dentro de los rangos de temperatura denominada de rango industrial (-40°C a 125°C).

1.7 REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA

Los requerimientos de diseño del sistema son los indicados en la tabla 1.1.

Tabla 1.1 Requerimientos Sistema ACS

PARAMETRO	VALOR	UNIDADES
Alimentación Externa	5	VDC
Máxima Potencia Media	0.5	W
Máxima Potencia de pico	1	W
Momento magnético	0.05	Am ²
Apuntamiento Nadir	±15	Grados
Apuntamiento Estelar	±1	Grados
Temperatura Máxima	125	°C
Temperatura Mínima	-40	°C

El diseño del sistema se relaciona con la especificación “Documento de Especificaciones Técnicas del S/S de ACS” facilitado por el Dr. Segundo Esteban.

1.8 ESTRUCTURA DEL PROYECTO

La memoria de este proyecto se estructura de la forma indicada a continuación.

Capítulo 2.

Se detalla el diseño hardware de los distintos bloques que constituyen el sistema ACS, resumiendo las principales características del proceso de diseño y del funcionamiento de los dispositivos. Se hace referencia a los Anexos, donde se presentan las características principales de los distintos componentes electrónicos utilizados en el diseño.

Capítulo 3

Está dedicado a la definición del software base del ACS. Esta denominación quiere indicar que es el software de interfaz entre la aplicación y los dispositivos utilizados.

Se indica los módulos que componen dicho software (firmware) de control. También se indica el entorno utilizado para el desarrollo y depuración del software y hardware.

Capítulo 4

Se analizan los algoritmos utilizados por la aplicación para el control del satélite. Existen muchos modelos de algoritmos dentro de la tecnología de los sensores estelares. En este proyecto se utilizan los algoritmos de Centroiding y Voting Method .

Capítulo 5

Englosa el sistema de pruebas propuesto para realizar los primeros análisis del hardware desarrollado, así como del software a utilizar en el equipo final.

Capítulo 6

Conclusiones. Debes resumir las aportaciones realizadas y el estado del proyecto.

El trabajo termina con la bibliografía y anexos donde se especifica información técnica referente al proceso o a los desarrollos.

2. HARDWARE del ACS

2.1 ACS-CPU. HARDWARE PROPUESTO

El proyecto únicamente requiere del hardware y software que permita obtener la orientación del Cubesat a través de un Sensor estelar, sensores de medición de campo magnético y actuadores del tipo magnético (magnetopares). El diagrama de bloques es el presentado en la figura 2.1.

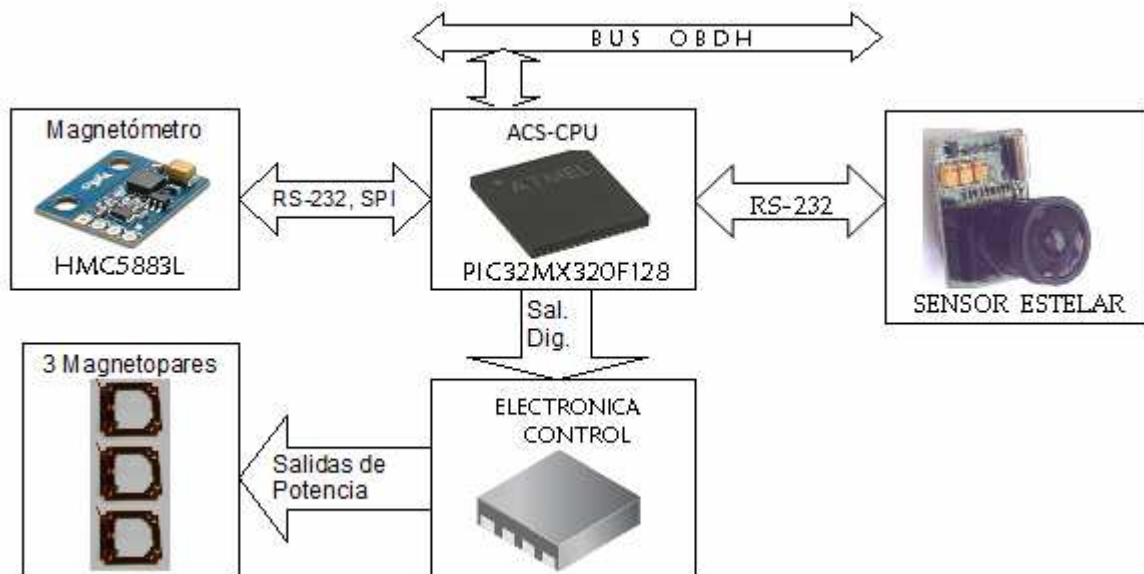


Figura 2.1 Diagrama de bloques del sistema ACS con Sensor estelar

El proyecto se compone de las siguientes unidades hardware:

- ACS_CPU.
- Memoria de almacenamiento de datos.
- Sensores: Sensor de Estrellas y magnetómetros.
- Actuadores: Magnetopares

La Unidad ACS-CPU es la encargada del control del ACS del Satélite. Por ello será la que reciba órdenes de las unidades exteriores que forman el satélite se ha pretendido que sea una unidad independiente del resto del sistema. Posiblemente sea posible minimizar los costes del satélite si se tienen en cuenta las demás unidades.

HARDWARE ACS

La ACS_CPU incluye:

- CPU de ACS: Se selecciona un microprocesador de 32 bit del fabricante microchip.
- Conector al BUS del OBDH: Se utilizara el conector típico PC104.
- Alimentaciones del ACS
- Electrónica de Control: Es capaz de manejar los 50 mA que necesitan cada uno de los magnetopares. Necesitaremos Puentes en H para poder manejar los dos signos de actuación y transistores de potencia para controlar la amplitud de la señal.

2.2 MICROCONTROLADOR (PIC32MX320F128)

Los PIC32 son una familia de microcontroladores de 32 bits de propósito general del fabricante Microchip Technology®. La Figura 2-2 muestra un diagrama a bloques del PIC32. Los PIC32 contienen un núcleo de 32 bits MIPS M4K desarrollado por MIPS Technologies. Este núcleo está basado en arquitectura Harvard, ya que posee buses separados de datos y de instrucción conectados al *Bus Matrix*.

El núcleo conecta a todos los módulos a través del *Bus Matrix*, el cual es un switch de alta velocidad que proporciona conexiones punto a punto entre módulos como se muestra en la figura 2.2.

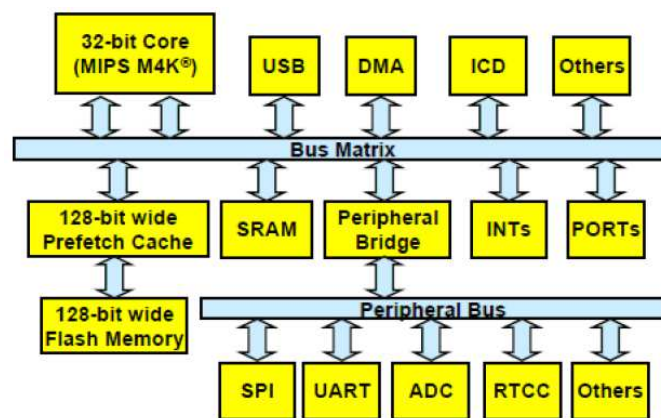


Figura 2.2. Diagrama de bloques del PIC32

El *Bus Matrix* funciona a la misma velocidad que la CPU. Los módulos conectados directamente a este bus son llamados *SYSCLK Peripherals* y pueden ir a la misma velocidad que el CPU, por lo tanto todos los accesos a los *SYSCLK Peripherals* se pueden completar en 1 sólo ciclo de reloj.

Dentro del chip se encuentra otro bus llamado *Peripheral Bus*, el cual se usa para comunicar módulos de menor velocidad como el SPI, UART, I2C, ADC, RTCC, etc.

Los módulos conectados al *Peripheral Bus* son denominados *PBCLK Peripherals*. Estos módulos funcionan a la velocidad determinada por el *PBCLK*, el cual se deriva del reloj principal (*SYSCLK*). Por medio de los bits de configuración y en tiempo de ejecución se puede configurar la velocidad del *PBCLK* en tasas de 1:1, 1:2, 1:4 y 1:8 del *SYSCLK*.

La arquitectura del PIC32 usa un concepto llamado *Bus Masters*. Además de todas las características de la arquitectura del PIC32, su verdadero poder radica en su núcleo, lo cual junto a su bajo coste ha permitido su selección como microcontrolador del sistema ACS que se está diseñando.

HARDWARE ACS

Microcontrolador seleccionado

En la figura 2.3 se representa un esquemático básico del MCU PIC32MX320F128H

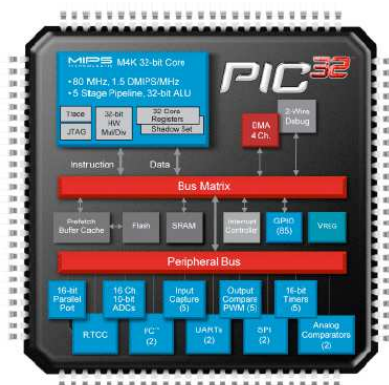


Figura 2.3. MCU PIC32MX320F128H (TQFP64)

La unidad ACS-CPU se puede programar mediante el entorno multiplataforma de desarrollo integrado (MPIDE), un entorno basado en el Arduino IDE original, modificado para dar soporte a los PIC32. Contiene todo lo necesario para comenzar a desarrollar aplicaciones embebidas.

Además, esta unidad es totalmente compatible con el avanzado IDE de Microchip MPLAB® y el PICkit3 en-sistema programador / depurador.

Ofrece 42 pines I / O que soportan varias funciones periféricas, como UART, SPI, I2C y puertos y salidas moduladas de ancho de pulso. Doce de los pines de E / S se pueden utilizar como entradas analógicas o como entradas y salidas digitales.

Las principales características de este microcontrolador son:

- PIC32MX320F128H: 80 MHz 32-bit MIPS, 128K Flash, 16K SRAM.
- 42 I/O pins disponibles.
- 12 Entradas analógicas.
- 3.3V - Voltage de operación.
- 80Mhz - Frecuencia de trabajo.
- 75mA - Corriente típica de trabajo.
- 7V a 15V - Voltajes de alimentación admisibles (20V máximo)
- +/-18mA DC corriente por pin

El microcontrolador tiene las alimentaciones de 3.3 VDC, lo cual deberá tenerse en cuenta para diseñar las correspondientes alimentaciones.

HARDWARE ACS

Otras características pueden observarse en el [Anexo B](#)

2.3 MEMORIA DE ALMACENAMIENTO

Para almacenar los datos de las estrellas se utiliza memorias de tipo Flash.

La memoria flash es un chip semiconductor, que permite guardar datos conservando su contenido incluso cuando la batería se apaga, y que además, permite ser borrado aplicándole una carga eléctrica. Las dos principales características desde el punto de vista de datos son:

- Nº de grabaciones de datos/byte: 100.000 ciclos (típico).
- Más de 100 años de retención de datos

Las memorias Flash se utilizan en múltiples dispositivos, tales como ordenadores portátiles, teléfonos móviles, cámaras fotográficas digitales, organizadores personales, receptores GPS, equipos de red; y son el medio más adecuado para transportar información ya que su estado sólido las hace resistentes a golpes y vibraciones.

Las memorias utilizadas tiene un interface SPI-compatible que permite utilizar pocos de interconexión. El tipo de dispositivo utilizado permite almacenar hasta 1 **Mbyte de datos**. Son dispositivos que permiten su escritura (Programar o Borrar Datos) con una sola fuente de alimentación de 2.7-3.6V .

Se encuentran en encapsulados: 8-lead SOIC package. Ver la figura 2.4 para las asignaciones de los terminales.

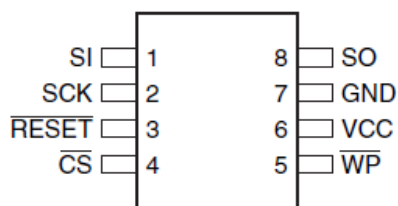


Figura 2.4. Memoria Serial Flash AT45DB081D de ADESTO Technologies

La descripción de los terminales (pin) del dispositivo son:

- SI (Serial Input): entrada de datos, direcciones y comandos al dispositivo.
- SO (Serial Output): salida de datos desde el dispositivo.
- SCK (Reloj): reloj interfaz de las señales serie.
- CS (Chip Select): selección de dispositivo.
- RESET: termina la operación en proceso.

HARDWARE ACS

- WP (Protección Escritura) habilita/deshabilita la escritura de datos en el dispositivo.

Para tener acceso al dispositivo la primera acción a realizar es poner un nivel bajo en el terminal CE#. La comunicación SPI se realiza mediante los terminales: SI, SO, SCK. La alimentación de las flash serial es de $V_{DD} = 3,3VDC$, y deberá alimentarse entre los terminales V_{DD} y V_{SS} .

El número de dispositivos a utilizar dependerá de la capacidad de almacenamiento necesaria.

Recordemos que se deberá almacenar una base de datos de estrellas y las fotos tomadas cada cierto tiempo.

2.4 SENSORES

2.4.1 Sensor estelar (ST).

El seguidor estelar ó rastreador de estrellas (ST) está constituido por una cámara, la cual debe ser satisfactoria en tres áreas principales:

- El dispositivo debe ser lo suficientemente pequeño como para encontrar el factor de forma de la nave.
- También debe tener suficiente resolución para proporcionar una solución de seguimiento de estrellas exacta.
- Debe poder proporcionar un entorno estable e interfaz compatible para el sistema de manejo de datos del satélite.

El sistema utiliza el siguiente algoritmo:

- El ST toma la imagen de un campo de estrellas brillantes y pasa la información al microcontrolador del ACS.
- El microcontrolador, pasa por un algoritmo los datos para identificar el patrón de estrella mediante la comparación con un catálogo de estrellas que tiene en la memoria determinando de esta manera la actitud del satélite.

El estado del arte de Sensor estelar

Hay varios tipos de sensores estelares:

- star scanners, usan la rotación de la nave para detectar estrellas,
- gimbals star trackers, que están montados en una plataforma móvil pudiendo barrer diferentes partes de la esfera celeste,
- star trackers o sensor estelar, con un FOV limitado y fijo respecto del satélite.

En este proyecto utilizamos el último tipo de sensor estelar, basándonos en detectores de imagen digitales de tipo CCD (charged coupled device) o APS (active pixel sensor), siendo estos los más utilizados en la actualidad.

HARDWARE ACS

Las figura 2.5 ilustra un típico sensor estelar comercial, que posee un sensor óptico CCD de 1024x1024 píxeles, su masa es de 3kg y el consumo eléctrico es de 10W, por lo que serviría para nuestra misión

Los componentes básicos de un sensor estelar son:

- (a) *protector solar* (baffle),
- (b) *sistema óptico*,
- (c) *módulo de detección*,
- (d) *electrónica de procesamiento* y (e) *carcasa*

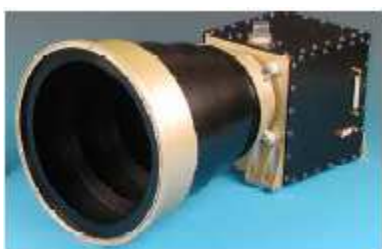


figura 2.5: sensor estelar comercial.

Se describen brevemente cada una de estas partes:

- a) La luz intensa es un problema para los sensores estelares, por lo que un *protector solar* (baffle) cuidadosamente diseñado es crítico para la buena performance del sensor. Incluso con protector solar, los sensores estelares son típicamente inoperables con el sol a menos de $\sim 45^\circ$ del FOV.
- b) El *sistema óptico* consiste de lentes que proyectan el FOV en el plano focal. (FOV - Field Of View: el area de cielo cubierto por el sensor en cada toma).
- c) El *módulo de detección* contiene al detector CCD o APS. Estos detectores (similares a los utilizados en cámaras fotográficas digitales comerciales) están compuestos por un arreglo de cientos de miles de foto-sensores (valores comunes son 512x512 o 1024x1024) dispuestos en una matriz rectangular paralela al plano focal. Cada uno de los fotosensores individuales es denominado *pixel*. La señal eléctrica de cada pixel (proporcional a la intensidad lumínica recibida) es amplificada y digitalizada (con un ADC o Analogical to Digital Converter). La información entregada por el módulo de detección es un vector con los valores de intensidad (*DNs*) de cada pixel.
- d) La *electrónica de procesamiento* toma la imagen digitalizada y mediante el *software de reconocimiento de orientación* determina la actitud del satélite.
- e) La *carcasa* cubre y protege el sistema óptico, el módulo de detección y la electrónica de procesamiento. Se debe tener especial cuidado en el diseño del conjunto y su acople al satélite debido a las

HARDWARE ACS

condiciones extremas que el ambiente espacial impone (gran amplitud de temperatura y radiación intensa).

Objetivos

El objetivo general es diseñar un sistema de adquisición de imágenes en el espectro visible y en el infrarrojo cercano, basado en un sensor de imagen con rango en el espectro de los 400 hasta los 1100 nm., para la toma de imágenes multispectrales en el espectro visible y del infrarrojo cercano.

Los objetivos específicos del diseño son:

- 1) Diseñar el sistema de adquisición de imágenes sin limitaciones tecnológicas como: capacidad de almacenamiento, comunicación, tener un alto riesgo por factores externos o del personal y el elevado precio.
- 2) Reducir el costo.
- 3) Reducir el tiempo de la adquisición de la imagen.
- 4) Diseñar el sistema de almacenamiento de las imágenes adquiridas.

2.4.1.1 Sensores CMOS y CCD

1. Sensores CCD

CCD, de las siglas en inglés Charge-Coupled Device [19] [20] que traducida al español es “dispositivo de cargas acopladas”, es un dispositivo el grupo de condensadores entrelazados. En la figura 2.6 se muestra el diagrama de bloques del funcionamiento básico del sensor CCD.

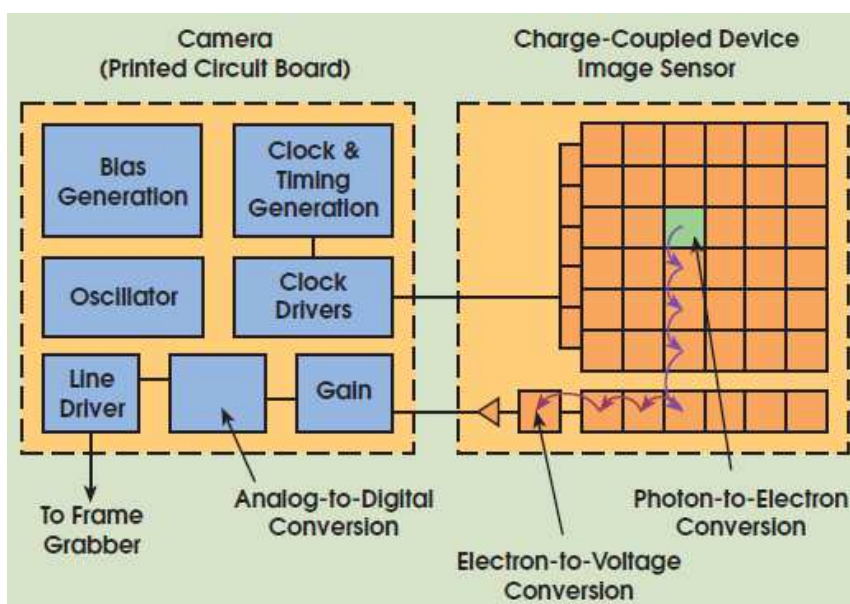


Figura 2.6. Diagrama de bloques básico del CCD

Fuente: Revista PHOTONICSS

SPECTRA ©Laurin Publishing Co. Inc.

HARDWARE ACS

La intensidad de luz se almacenan en formas de cargas eléctricas, se procede a digitalizarlo, por lo cual observando la figura los electrones pasan de una celda a otra hasta llegar a un dispositivo que convierte esa carga eléctrica en voltaje, luego se amplifica para no perder la información. Por último se transmite al dispositivo que almacena toda el área del CCD. El sensor necesita de un circuito oscilador para su funcionamiento.

2. Sensores CMOS

CMOS, de las siglas en inglés Complementary Metal-Oxide Semiconductor[19][20] que traducida al español es “semiconductor complementario de óxido metálico”, en realidad este nombre es con el que se conoce, su nombre verdadero es APS, siglas en inglés Active Pixel Sensor, el cual utiliza la tecnología antes mencionada. Esta clase de sensor fue mencionado desde 1968 por Peter J.W. Noble pero fue definido por Eric Fossum en 1993.

En la figura 2.7 se muestra al sensor con el arreglo de pequeños sensores, píxeles, con sus respectivos dispositivos para la conversión de carga a voltaje, el circuito que tiene el reloj y el dispositivo para convertir la señal analógica a digital.

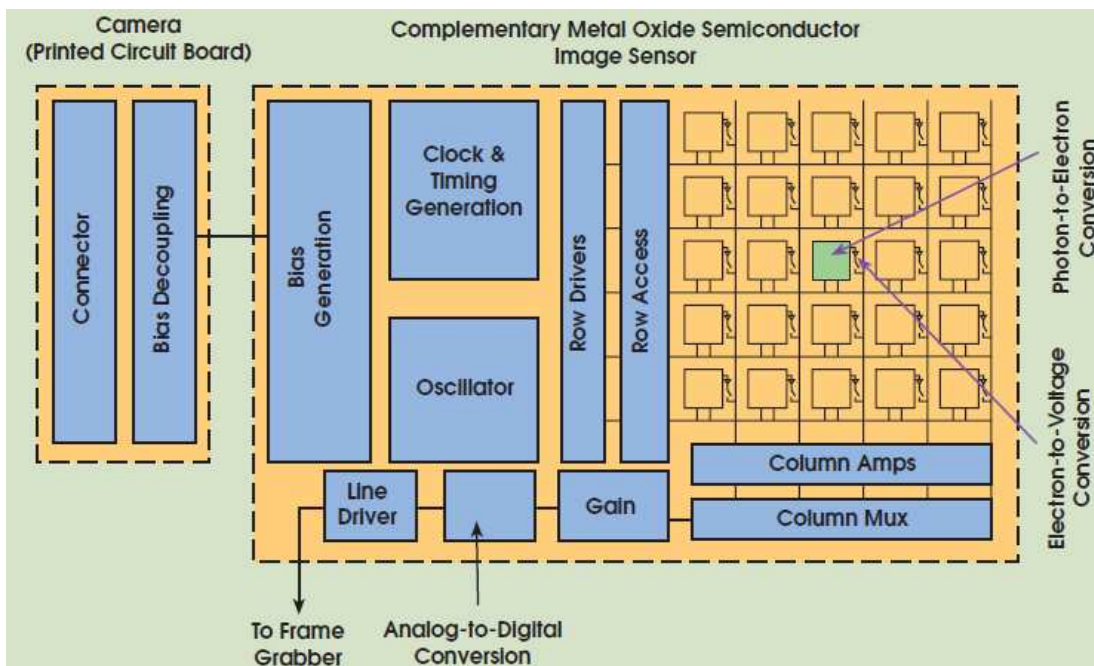


Figura 2.7. Diagrama de bloques básico del CMOS

Fuente: Revista PHOTONICSS SPECTRA ©Laurin Publishing Co. Inc.

El sensor trabaja de la misma manera que el sensor CCD con la única diferencia que la conversión se realiza en cada pixel, donde se realiza también la conversión de la intensidad de luz en carga eléctrica. Y a la salida del sensor se obtendrá la imagen en forma digital.

HARDWARE ACS

Algunos CMOS entregan la información de la imagen en forma paralela y otros en forma serial.

Comparación entre los sensores CCD y CMOS

En los últimos años se ha discutido cuál de los dos sensores es el mejor para generar imágenes, pero cada sensor se utiliza de acuerdo a los requerimientos y aplicaciones que uno desea realizar [21].

En la tabla 2.1 se muestra un cuadro comparativo entre los dos sensores, basándose en las características y el desempeño que las dos tecnologías ofrecen. En esta tabla se resume la investigación realizada [19] [21] por un fabricante, DALSA, que detalla con bastante precisión cada característica y rendimiento del sensor.

En la primera tabla se encuentran las características del sensor y de un módulo o cámara que se basa en el sensor.

Tabla 2.1 Comparación sensores CCD y CMOS

Características	CCD	CMOS
Señal de salida de pixel	Paquete de electrones	Voltaje
Señal de salida del chip	Voltaje (analógico)	Bits (digital)
Señal de salida de la cámara	Bits (digital)	Bits (Digital)
Factor de llenado	Alto	Moderado
Sistema de ruido	Bajo	Moderado
Complejidad del sistema	Alto	Bajo
Complejidad del sensor	Bajo	Alto

En la tabla 2.2 está el rendimiento de un sistema, como la cámara, basado en el sensor de imagen.

Tabla 2.2 Rendimiento de cámaras

Rendimiento	CCD	CMOS
Respuesta	Moderado	Ligeramente mejor
Rango dinámico	Alto	Moderado
Uniformidad	Alto	Bajo a moderado
Disparo uniforme	Rápido, común	Pobre
Velocidad	Moderado a alto	Alta
Windowing	Limitado	Extensivo
Biasing and Clocking	Múltiple, voltaje alto	Sencillo, voltaje bajo

Fuente: http://www.dalsa.com/sensors/Products/ccd_vs_cmos.aspx

De acuerdo a la tabla se elige el sensor CMOS pues consume menos corriente y nos brinda información digital para así procesar la imagen de una manera más rápida y sencilla.

HARDWARE ACS

2.4.1.2 Esquema general de diseño

En la figura 2.8 se muestra el diagrama de bloques general que la presente tesis desarrollará.

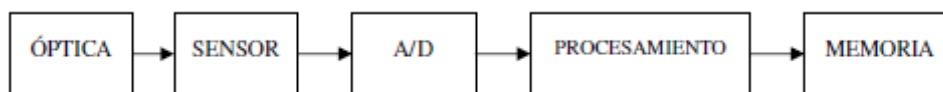


Figura 2.8. Diagrama de bloques del sistema de adquisición de imágenes

El diagrama cuenta con 5 bloques, el primero de ellos es el bloque de la parte óptica, el cual ve todo lo que concierne al diseño físico, el uso de lentes, prismas, etc.

Lentes ópticas

La parte óptica es fundamental en el diseño del sistema de adquisición de imágenes ya que es el encargado de recibir las longitudes de onda y poder captar la imagen a la distancia deseada. Por ello se analizó la factibilidad del desarrollo del diseño. El diseño abarca varios factores como la distancia focal, profundidad de la imagen, resolución, el tamaño del sensor, ondas electromagnéticas a recibir, si se desea ampliar la imagen, entre otros; de acuerdo a estos factores se elegirán las lentes, prismas, filtros, el sensor y otros dispositivos mecánicos. Por tal razón el diseño óptico no se desarrollará y se asumirá para el sistema que ya se cuenta con el diseño óptico adecuado.

Los lentes son los encargados de enfocar la escena sobre el sensor CCD de la cámara. Las mismas, se catalogan según sus características constructivas y se dividen primariamente según su ángulo de cobertura en:

- Lentes de ángulo normal: Estas lentes toman o ven casi igual que el ojo humano: de $30/39^\circ$ (sexagesimales).
- Lentes de gran ángulo o gran angular: Estas toman o ven un ángulo mayor que el ojo humano: un ángulo de $45/100^\circ$ o más. Según el diseño, pueden superar los 150° y llegar a los 180° en las lentes ojos de pez o súper panorámicos.
- Lentes de pequeño ángulo o teleobjetivo (o simplemente tele) Son aquellas que toman o ven menos que el ojo humano, un ángulo de $30/1^\circ$ o menos, según el diseño.

La figura 2.9 explica la correcta elección del lente adecuado al tamaño del sensor en la imagen de arriba no se llega a visualizar en el monitor todo el objeto, mientras que en la inferior, sí .

HARDWARE ACS

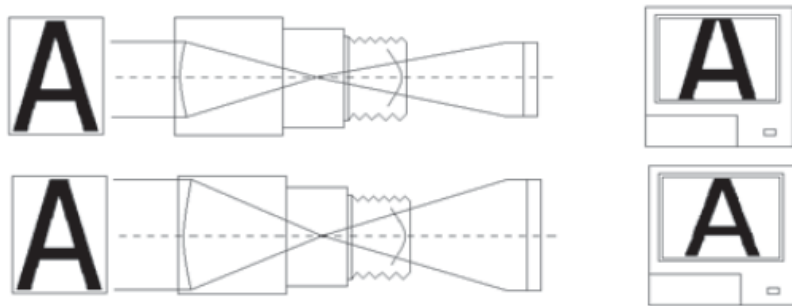


Figura 2.9. Elección de la lente

Estos ángulos de cobertura varían de acuerdo al diseño al cual están destinados para ser usados: con chip CCD de 1/2", 1/3" ó 1/4".

Como regla de uso, los diseños de lentes destinados a chip de 1/2" pueden ser usados en los otros dos formatos, pero el ángulo de cobertura será diferente.

Como ejemplo: Una lente de 12 mm de distancia focal tomará un ángulo de 30° para chip de 1/2", 22° para chip de 1/3" y 16° para lentes de 1/4", o sea, es un lente normal para 1/2, " un tele corto para 1/3" y un tele largo para 1/4".

En el caso contrario, no se pueden usar las lentes dedicadas a chip pequeños en uno mayor, ya que se produciría un efecto de recorte de la imagen con bordes negros sin llegar a la cobertura total, efecto llamado "Viñeteo".

Sensores

El segundo bloque es el del sensor a utilizar que puede ser un módulo de cámara, posteriormente la señal analógica obtenida se convertirá en una señal digital a través de un dispositivo ADC.

El cuarto bloque es el de procesamiento que se realizará a través de un FPGA que hará los cálculos para obtener las imágenes. Y por último se almacenará en una memoria flash. Todo lo descrito anteriormente se realizará en el interior de la aeronave.

Para el diseño final se tendrá en cuenta los siguientes puntos:

1. Consumo de potencia.
2. Costo total del diseño.
3. Tamaño final del diseño.
4. Peso final del diseño.

HARDWARE ACS

Existen varios fabricantes de este tipo de sensor: SONY, HAMAMATSU y KODAK. Cada uno de los fabricantes ofrecen diversos tipos de sensores CCD, figura 2.10: Sensor cuadro completo, sensor lineal, sensor entrelazado.



Figura 2.10. Tipos de sensores CCD

El funcionamiento de la cámara RGB que monta la Kinect es como el de una cámara digital estándar. La luz atraviesa una lente que la dirige a un filtro encargado de separarla en los colores primarios, los cuales son proyectados sobre un sensor fotosensible.

Este sensor genera una señal eléctrica en función de la intensidad de la señal que incide sobre él. Posteriormente, esta señal es convertida a digital mediante un ADC (Analog Digital Convert), que más tarde es analizada y reconstruida para su almacenamiento. Esto se consigue gracias a la interpolación, que permite rellenar aquellos espacios en los que falta información.

El problema del sensor es que no distingue los colores, sino variaciones de intensidad, por tanto para obtener una imagen en color es necesario descomponer la imagen en los colores primarios (rojo, verde y azul). Estos son proyectados sobre distintas zonas del sensor, el cual reconoce la cantidad de intensidad de cada uno de ellos por separado, como se puede observar en la Figura 2.11.

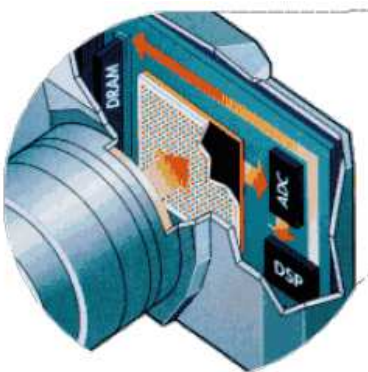


Figura 2.11. Diagrama de funcionamiento interno de la cámara digital

De acuerdo a estas posibilidades se eligió el sensor en forma de área pues así se capturará toda un área del objeto, en este caso una parte de las estrellas del Universo.

HARDWARE ACS

El sensor tiene encapsulado DIP, por lo que se hace sencillo soldarlo manualmente y así hacer las conexiones necesarias para trabajar la información de la imagen.

Las figuras 2.12 muestra el diagrama de bloques del diseño del sensor estelar basándose en el sensor KODAK KAC9618 [23].

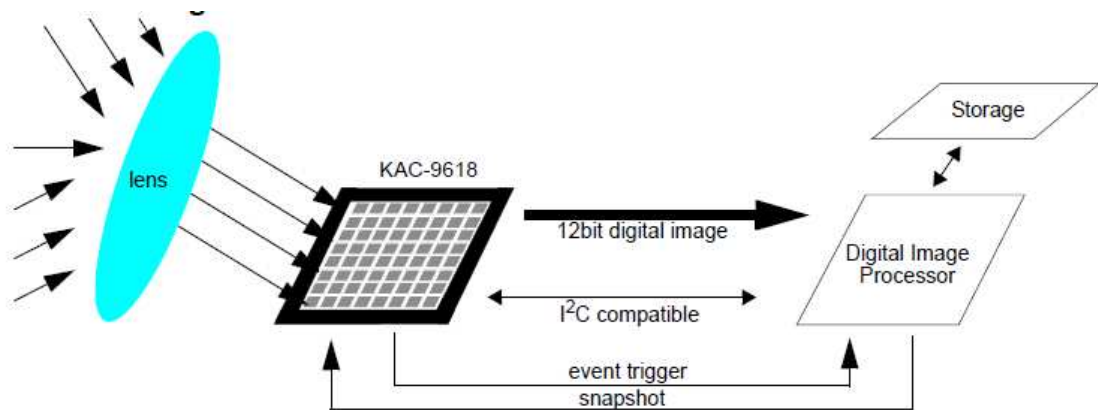


Figura 2.12 Diagrama de bloques sensor estelar

Las figuras 2.13 muestran el esquema de bloques del diseño electrónico basándose en el sensor KODAK KAC9618 [23], controlado a través de un micro-controlador PIC32MX. La imagen que se capturará del sensor, será almacenada en la memoria FLASH.

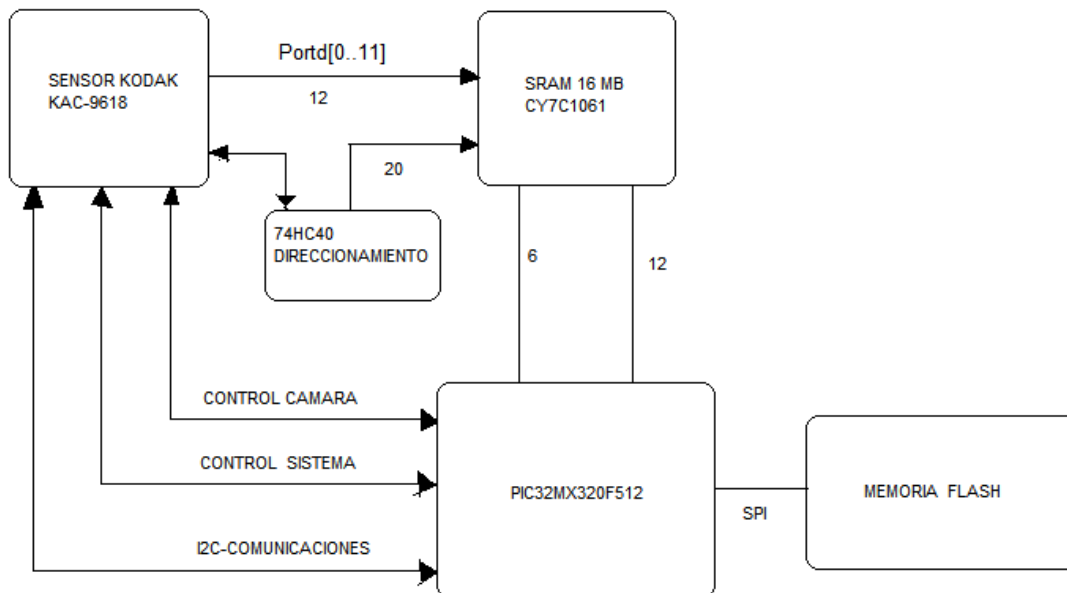


Figura 2.13. Esquema de bloques del sensor estelar con PIC32MX

HARDWARE ACS

El sensor Kodak KAC-9618 es un sensor de imagen de tecnología CMOS que da a la salida información digital. Este sensor tiene las siguientes características:

- Operación de video y toma de imagen.
- Escaneo y ganancia de los bits programable.
- Sensor programable vía I2C.
- Corrección y compensación de oscuridad de píxeles.
- Bajo consumo de corriente.
- Imágenes de 648 x 488.
- Entrega información digital de 8, 10 y 12 bits.

El diagrama de bloques se representa en el [anexo C](#):

El sensor es programable vía el protocolo de comunicación I2C, algunas de las funciones que se pueden programar son:

- a) El modo de escanear los pixeles (progresivo, interlineado).
- b) El modo de sub-muestreo de los pixeles (2:1 y 4:2).
- c) La integración parcial o total de los pixeles cuando integra la luz incidente.
- d) La ganancia en general o individuales.
- e) Modo monocromo o RGB.
- f) La selección de la región de escaneo de la imagen.
- g) La opción de video o la captura de imagen.
- h) La cantidad de bits a la salida del sensor (12, 11, 10, 9, 8 bits).
- i) La cantidad de cuadros de imagen por segundo (30, 15, 7.5, 4, 2, 1).

El diagrama de flujo para la configuración del sensor se muestra en la figura 2.14.

Primero se lee el BIT7 del MCFG0 para saber si el sensor está listo para usarse. Luego se configura el MCFG1 para que el escaneo sea progresivo, es decir se toma en forma consecutiva cada píxel de cada fila y columna; y el color sea monocromo, para abarcar el rango del espectro de los 1000 nm.; luego se configura la ganancia y el tiempo del extsync. Después se programa el video en 30 FPS y por último se manda el registro UPDATE para actualizar las configuraciones.

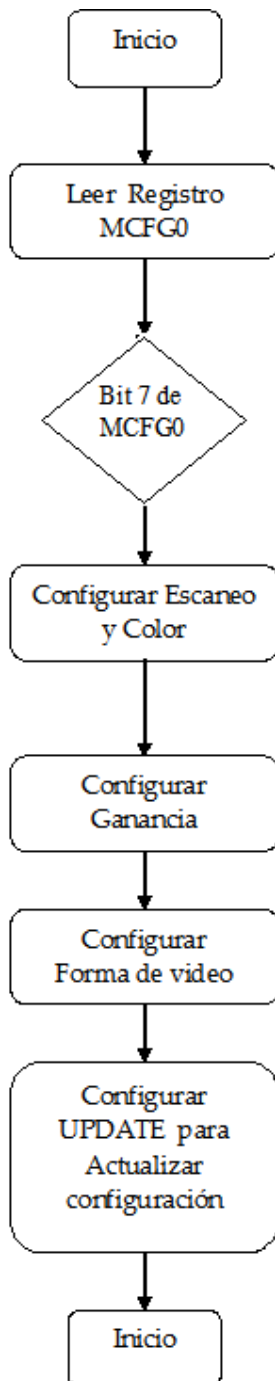


Figura 2.14. Diagrama de flujo para la configuración del sensor KAC-9618

Para tomar una imagen (Snapshot) el sensor debe estar operando en estado de VIDEO y cuando se reciba la indicación de tomar la imagen se debe habilitar un bit *SnapEnable* del registro SNAPSHOTMODE para que el sensor se quede congelado al final del actual cuadro. Se volverá a VIDEO deshabilitando el pin. Para mantenerse en el estado de SNAP hay una señal que se genera, TRIGGER, por la señal de Snapshot.

Todo esto se muestra en la figura 2.15 Modo Snapshot.

HARDWARE ACS

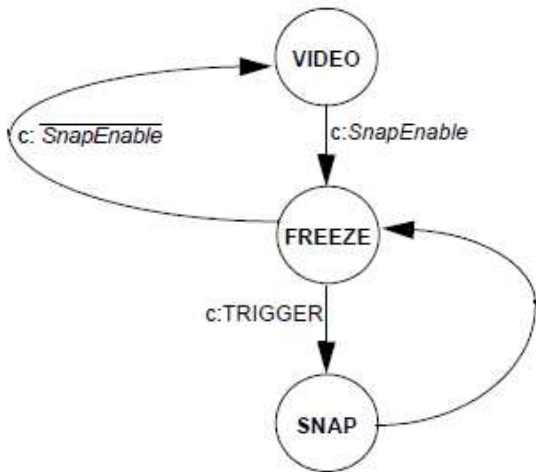


Figura 2.15. Diagrama de estados de modo Snapshot
Fuente: Hoja técnica KAC-9618 www.kodak.com

Se muestra a continuación en la figura 2.16 el diagrama de flujo del Snapshot.

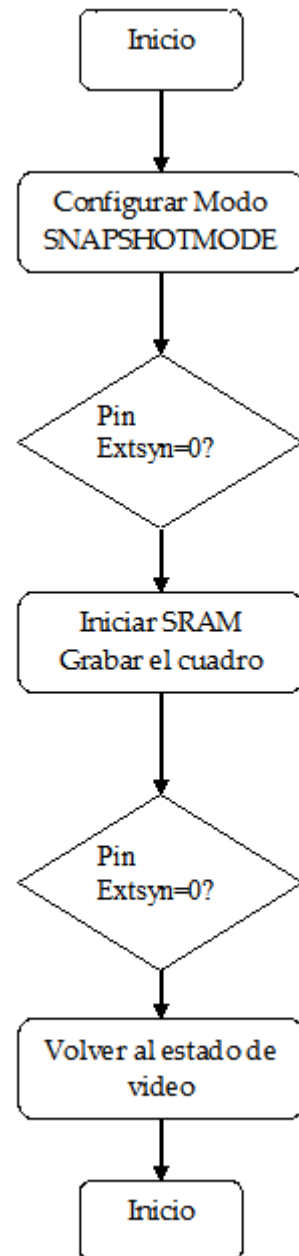


Figura 2.16. Diagrama de flujo del SNAPSHOT

HARDWARE ACS

En la figura 2.17 se muestra el diagrama esquemático del sensor KAC-9618

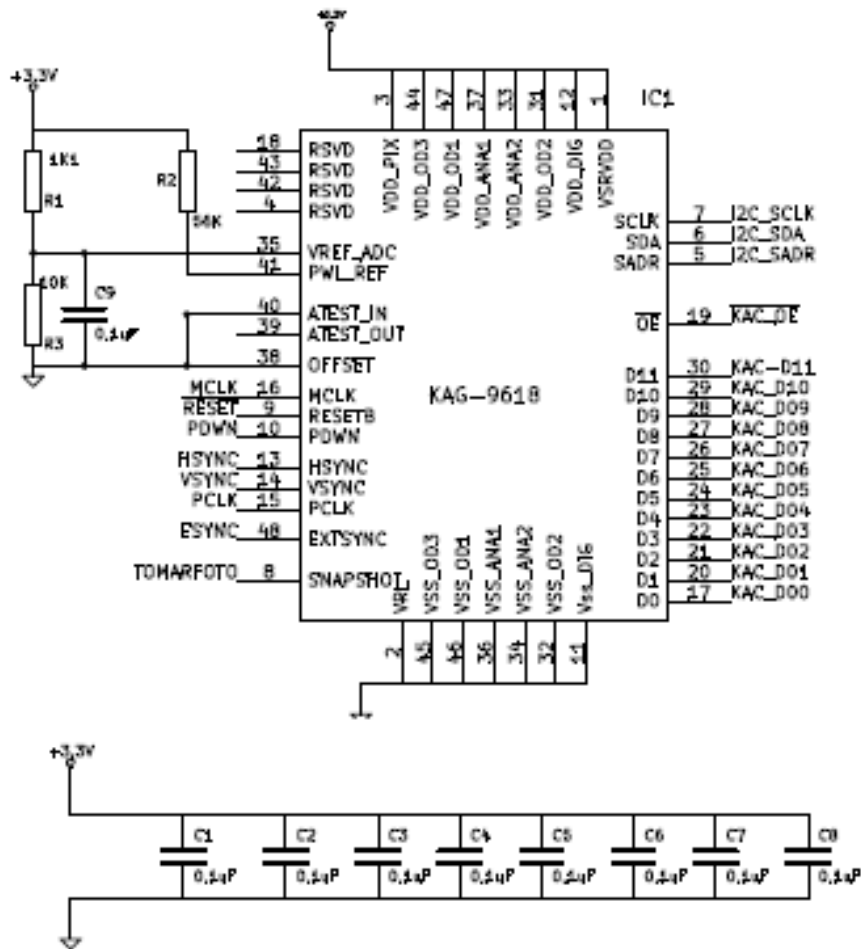


Figura 2.17. Diagrama esquemático del sensor KAC-9618[36]

Fuente: Hoja técnica KAC-9618 www.kodak.com

SRAM CY7C1061

La memoria SRAM que se utilizará es la CY7C1061AV33 [24] de tecnología CMOS que se organiza en 1 048 576 palabras de 16 bits. En esta memoria se piensa almacenar temporalmente el cuadro de imagen. Por tal razón debemos conocer como se escribe y se lee en la memoria SRAM.

Para la escritura se realiza lo siguiente:

- Habilitar el chip (CE1= 0, CE2= 1).
- El pin de habilitar escritura WE= 0.
- Se indica la dirección donde se grabará con [A0:A19].
- Si el pin BLE= 0 se escribe lo que indica [IO0:IO7].

HARDWARE ACS

e) Si el pin BHE= 0 se escribe lo que indica [IO8:IO15].

Para la lectura se realiza lo siguiente:

- a) Habilitar el chip (CE1= 0, CE2= 1).
- b) EL pin de habilitar salida OE= 0.
- c) El pin de habilitar escritura WE= 1.
- d) Se indica la dirección de donde se leerá con [A0:A19].
- e) Si el pin BLE= 0 en los pines [IO0:IO7] se pondrá el valor leído.
- f) Si el pin BHE= 0 en los pines [IO8:IO15] se pondrá el valor leído.

Todos estos pines de control y los pines de dirección de la RAM serán controlados, valga la redundancia, por el microcontrolador PIC32MX, ver [Anexo D](#).

Como tiene 20 pines para seleccionar la dirección de la memoria sería ineficiente seleccionar un nuevo micro controlador con más pines. Por tal razón se utilizarán dos contadores de 12 bit para así seleccionar todas las direcciones de memorias. El contador que se empleará es MM74HC4040 de FAIRCHILD Semiconductor. Y para ambos contadores se utilizará como señal de reloj de entrada el pin pclk del sensor KAC-9618. (Figura 2.18)

HARDWARE ACS

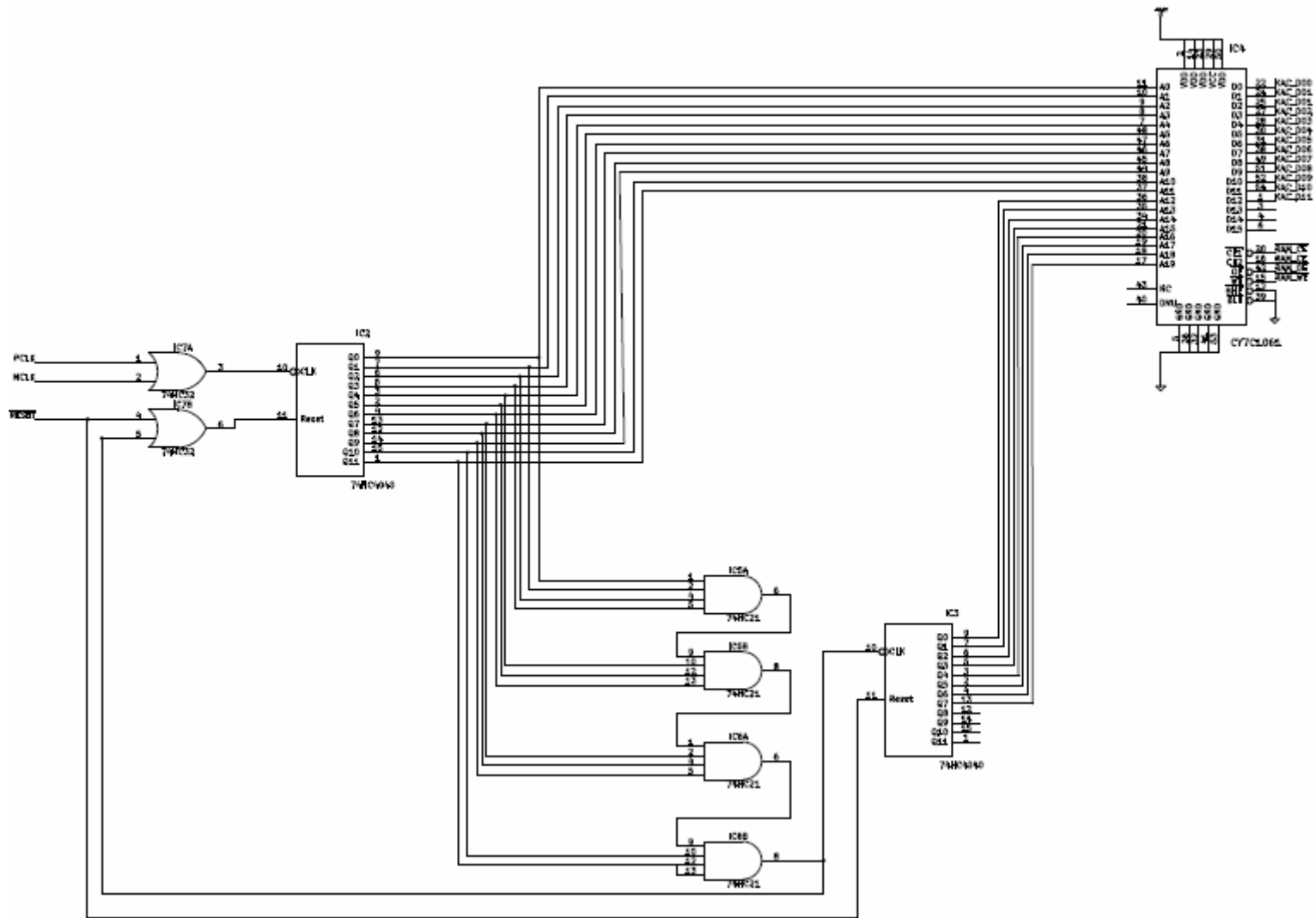


Figura 2.18. Accesso Memoria SRAM
CY7C1061

HARDWARE ACS

HARDWARE ACS

El micro controlador elegido es el encargado de manejar a todos los dispositivos y recibirá a través del pin **TOMAFOTO** el valor respectivo para la toma de la imagen y almacenarla. El micro controlador tendrá el siguiente diagrama esquemático como se muestra en la figura 2.19.

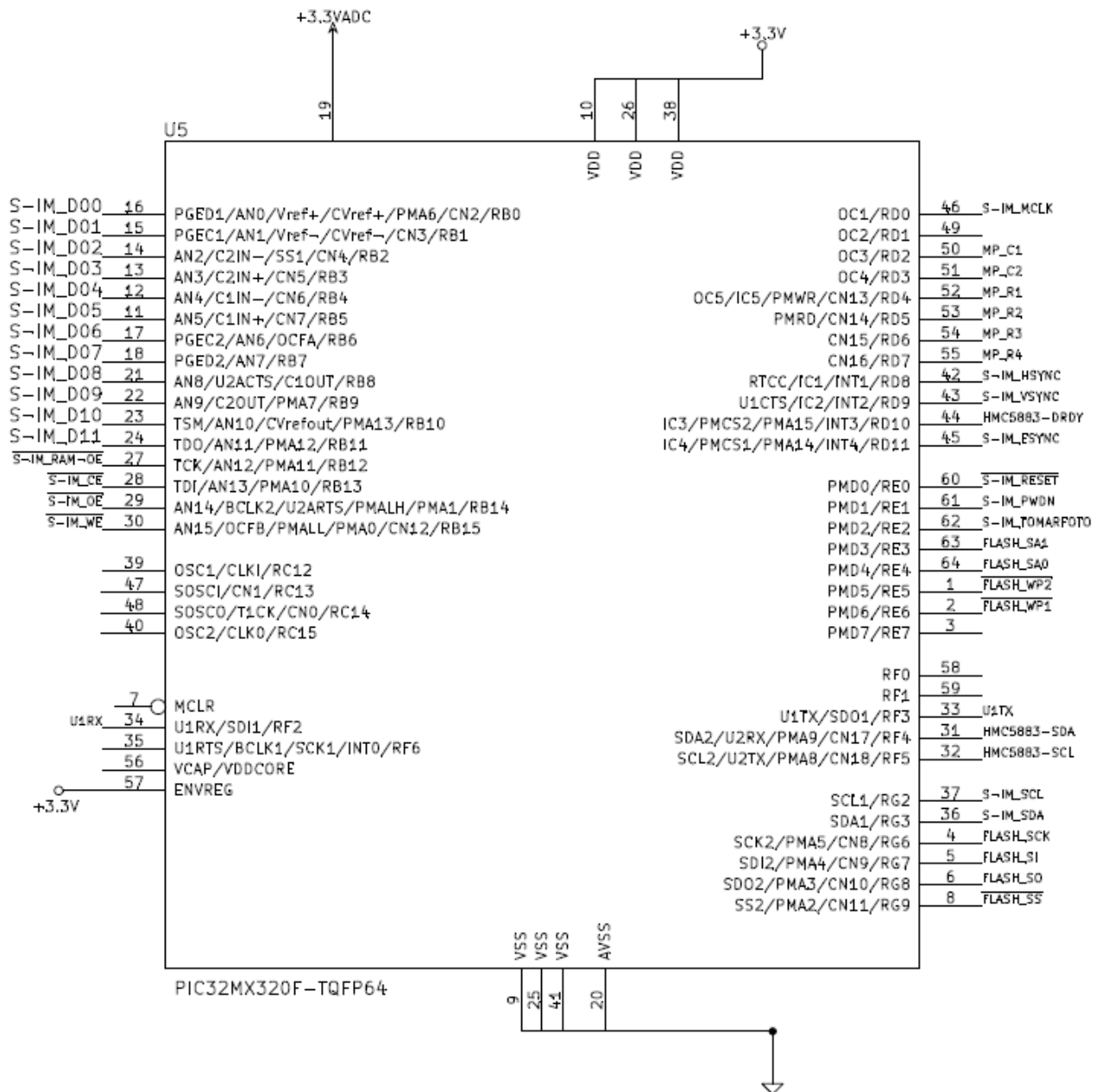


Figura 2.19. Diagrama esquemático del microcontrolador PIC32MX

HARDWARE ACS

El control del sensor estelar se regirá mediante el diagrama de flujo mostrado en la figura 2.20:

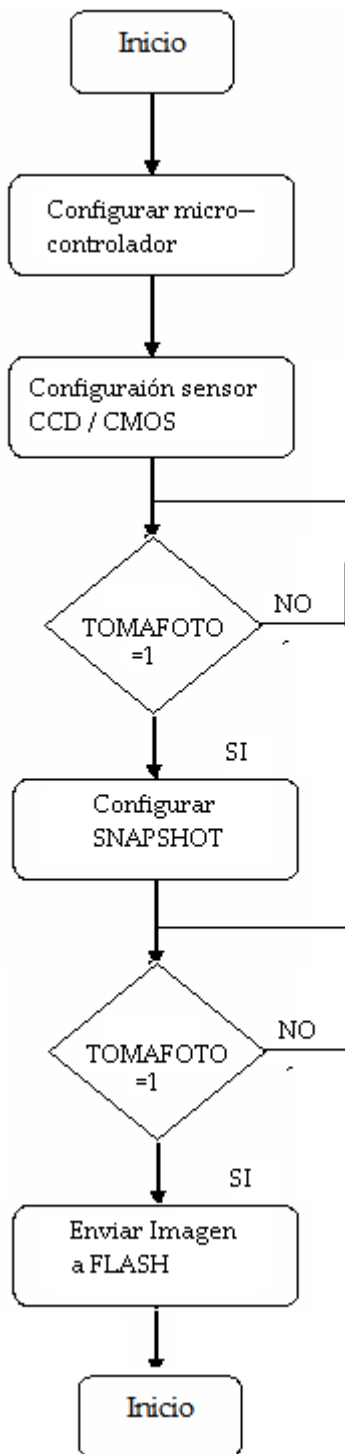


Figura 2.20. Diagrama de flujo para la configuración del sensor KAC-9618

2.4.1.3 Análisis de factores

El análisis de los factores mencionado a continuación es muy importante pues permite saber si el diseño propuesto es el indicado y si es viable su desarrollo. Estos factores son el precio, el consumo de corriente, el tamaño, el tiempo y el peso.

Análisis de tiempo

El primer factor es el tiempo en segundos en tomar una imagen y estar listos para la siguiente imagen. Se calcula a continuación los tiempos de cada dispositivo.

El sensor KAC-9618 trabajará en el modo esclavo ya que será controlado por el micro controlador PIC32MX, por lo tanto la frecuencia de funcionamiento estará determinada por el PIC32MX. La frecuencia será $mclk = 60 \text{ MHz}$.

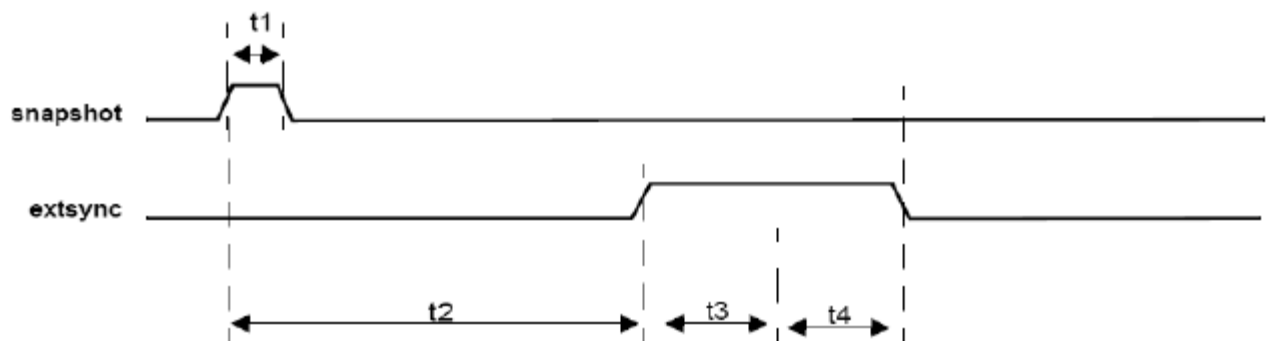


Figura 2.21. Diagrama de tiempos para Snapshot en el sensor KAC-9618
Fuente: Kodak KAC-9618 CMOS Image – <http://www.kodak.com>

Tiempo de Hclk = $mclk / 6 = 83.33\text{ns}$. (60 MHz)

Ciclo de operación para la lectura de una fila = $780 * 83.33 \text{ ns} = 65 \text{ us}$.

$FNHclk = (648+9)*65\text{us} = 42.705 \text{ ms}$.

$t2 = \text{Array Reset} = 3 \text{ frames} \times 42.705 \text{ ms} = 128.115 \text{ ms}$.

$t1 = \text{Tiempo de Snapshot} = 2 * mclk = 41.67 \text{ ns}$.

$t3 + t4 = \text{Tiempo del extsync} = 2 * FNHclk = 85.410 \text{ ms}$.

La suma total = Tiempo de Snapshot + Tiempo de Array Reset + Tiempo del extsync
= 213.525 ms.

HARDWARE ACS

Falta la programación del modo de video a modo snapshot y viceversa, la cual tiene la siguiente suma de tiempos. Son 8 bits por 4 registros que se envíen en la escritura, los tiempos de esperas de los ACK: $((8 \times 1.9\mu s \times 4 + 0.6\mu s \times 2 + 1.9\mu s \times 4) \times 2) \times 2 = 2.2272 \text{ ms}$.

Entonces la suma total será: **216 ms**.

Se almacenarán 648×488 pixeles de 12 bits en las direcciones de la RAM. Si el tiempo para el ingreso de los 12 bits es 10ns. Entonces en el ingreso de todos los pixeles a la RAM demoraría 3.16224 ms. Pero el sensor KAC-9618 se demora aproximadamente 85.410 ms. Por lo tanto para la escritura se demorará 85.410 ms. Pero para la lectura si serán los 10 ns y eso da 3.16224 ms. En total sumarán **88.57224 ms**.

Análisis de consumo de potencia

El presente diseño estará colocado sobre una astronave e interactuará con los dispositivos de control de la astronave, por lo cual el consumo de corriente es muy importante para no sobrepasar los consumos marcados en las especificaciones. A continuación se muestra los consumos de corriente en cada dispositivo en la tabla 2.3:

Tabla 2.3. Consumo de corriente de los dispositivos

Dispositivo	Corriente	Tensión
Sensor KAC-9618	50 mA	3.3V
PIC32MX	30 mA	3.3V
SRAM CY7C1061	30 mA	3.3V
Contador 74HC4040 (x2)	20 mA	3.3V
TOTAL	130 mA	--

Análisis de peso

Los dispositivos tienen los siguientes pesos:

Sensor KAC-9618	1.64 g
uC PIC32MX320	0.24 g
SRAM CY7C1061	0.30 g.
Contador MM74HC40	0.30 g.

Como vemos el peso total del diseño no excederá los 3 g.

HARDWARE ACS

Análisis de tamaño

Los dispositivos tienen los siguientes tamaños:

Tabla 2.4. Dimensiones de los dispositivos

Dispositivos	Horizontal(mm)	Vertical (mm)	Grosor (mm)
Sensor KAC-9618	14.5	14.5	0.2580
PIC32MX	7	7	1.6
SRAM CY7C1061	22.517	11.938	1.20
FLASH	19.91	6.78	1.20
74HC40	19.81	6.604	8.890

CONCLUSIONES

1. El diseño elegido cumple los requerimientos que se plantearon al inicio. Además el diseño elegido es viable para su construcción.
2. El diseño tiene un costo bajo, de 2 a 3 veces menos que el precio de las cámaras multiespectrales que actualmente se comercializan, como la Dycam, la Tetracam, etc.
3. El diseño tiene un reducido tiempo de adquisición de la imagen. Alrededor de 1 segundos. Este tiempo también es de 2 a 3 veces menor que las cámaras multiespectrales actuales como la TetraCam [39] o la Dycam [38]. Recalcando que el tiempo se obtuvo a un bajo costo.
4. El diseño tendría un consumo de corriente aceptable, alrededor de 130 mA. El consumo de corriente es vital pues existirán otras tarjetas electrónicas y todos estos dispositivos estarán alimentados por una batería.
5. El diseño se estima que tendrá un tamaño pequeño, pues los dispositivos que se van a utilizar son muy pequeños de alrededor de 2 cm x 2 cm. Por ende las tarjetas que se obtendrán saldrán pequeñas, pues no se necesitan muchos más dispositivos adicionales.

Por último comentar que este sensor podría protegerse con un **obturador** basado en tecnología LCD (ver [Anexo C](#))

2.4.2 Magnetómetros.

Tomando el magnetómetro HMC5883L de Honeywell como línea de base, la investigación inicial se realizó para ver si había nuevos componentes fabricados por la misma empresa, o de piezas similares hechas por una empresa diferente.

La empresa Honeywell promociona la línea HMC como los "sensores de estreno" en el campo. El Freescale FXOS8700CQ: 6-Axis Sensor Xtrinsic, un componente que combina un acelerómetro y magnetómetro, se miró, pero decidido a ser demasiado pesada, con una precisión menor para las mediciones magnéticas. Además, el poder requisitos eran mucho mayores al poder los dos tipos de sensores [15]. El HMC5883L fue seleccionado nuevamente como la opción más viable debido a su precisión, el peso y experiencia de vuelo.

Se utilizará un sensor magnético de 3 ejes como el indicado en la figura 2.22.

Figura 2.22. GY-273 3 ejes magnéticos.



Las características de este sensor son:

- Está basado el sensor HMC5883L de Honeywell
- Dimensiones: 1,9 cm x 1,4 cm x 0,2 cm
- Peso: 2 g.
- Conexión en la PCI del ACS. Conector de 6 contactos. De esta forma podrá colocarlo en el lugar más adecuado en el Cubesat. Figura 2..23.

Figura 2.23. Conector para magnetómetro



El HMC5883L tiene un diseño ultra-compacto, tamaño de 3,0 x 3,0 x 1.4mm³ y una masa de 25,6 miligramos. Tiene un sensor de montaje en superficie de tres ejes que está diseñado para ser muy sensibles y se pueda medir el campo magnético bajo. Este sensor

HARDWARE ACS

proporciona una amplia gama de campo magnético de ± 6 gauss, y tiene un error de linealidad de 0.1% en condiciones de ± 1 gauss.

El HMC5883L es un módulo multi-chip diseñado para la medida de campos magnéticos y posee una interfaz digital con el exterior. Se utilizan tres sensores alineados ortogonalmente para realizar las mediciones de los tres ejes. Permite medir la dirección y la magnitud del campo magnético.

El HMC5883L incluye la última generación y alta resolución HMC118X de sensores magneto-resistivos más una amplificación que contiene ASIC, drivers de desmagnetización automática, cancelación de offset, y un ADC de 12 bits que permite de 1 a 2 grados de precisión. El bus serie I2C permite una interfaz fácil con microcontroladores.

El diagrama de bloques de este sensor es el indicado en el [Apéndice G](#). Características generales del HMC5883L:

- Sensores magnéticos 3-Axis y ASIC
- 12-Bit ADC de bajo ruido
- Operaciones de Baja Tensión (3,3 ~ 5V)
- Interfaz Digital I2C
- Amplia gama Campo Magnético (+ / -8 Oe)
- Interfaz de comunicación: I2C
- Indicador LED: Indica la potencia de la PCB
- Contenido del paquete:
- 1 x Brújula módulo sensor

El dispositivo tiene los siguientes modos de funcionamiento.

- Modo continuo de medición. El dispositivo realiza continuamente medida, almacenando los datos en los registros de salida. El bus I2C está habilitado para el uso de otros dispositivos de la red, mientras que en el modo continuo de medición.

- Modo de una sola medición. Este es el modo de trabajo por defecto, cuando se inicializa el sensor.

HARDWARE ACS

Durante el modo de medición individual ó medida única, el dispositivo realiza una sola medida y coloca los datos medidos en los registros de datos de salida. El tiempo de realización se indica en la figura 2.24

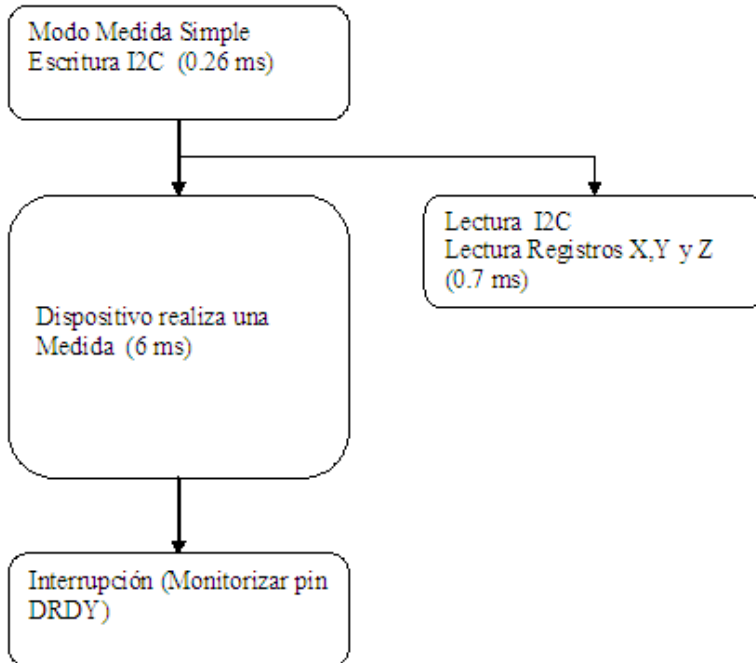


Figura 2.24. Periodo típico de una única medida

- Modo inactivo. Durante este modo, el dispositivo es accesible a través del bus I2C, pero las principales fuentes de consumo de energía están desactivados.
- Modo de reposo. Durante el modo de reposo la funcionalidad del dispositivo se limita a escuchar el bus I2C. El reloj interno no funciona y no se mantienen los valores de los registros.
- Modo Off. Durante el modo de apagado el dispositivo está apagado. No existe ninguna funcionalidad del dispositivo.

Este dispositivo es controlado y configurado a través de un número de registros en el chip, que se describen en esta sección. En el siguiendo las descripciones, conjunto implica una lógica 1 y reset o clara implica una lógica 0, a menos que se indique lo contrario.

En el [anexo G](#) se detallan todos los registros del dispositivo.

El HMC5883L se comunica a través de un sistema de bus I2C de dos hilos como un dispositivo esclavo. Utiliza el protocolo de interfaz definido por la especificación del bus I2C. La velocidad de datos es en los 100kbps en modo estándar. El formato de bits es un bus de datos de 8 bits /

HARDWARE ACS

Dirección de envío y un bit 1 bit de reconocimiento. El formato de los bytes de datos (carga útil) será de casos sensibles caracteres ASCII o datos binarios en el esclavo HMC5883L y datos binarios devueltos. Valores binarios negativos serán en forma de complemento a dos.

El valor por defecto (de fábrica) HMC5883L de dirección del esclavo es 0x3C para las operaciones de escritura, o 0x3D para operaciones de lectura. El reloj (SCL) y las líneas de datos serie (SDA) requieren resistencia pull-ups (R_p) entre el dispositivo maestro (por lo general un microprocesador host) y el HMC5883L. Se recomiendan valores de resistencia de alrededor de 2,2 K a 10 K ohmios con una tensión nominal VDDIO. Ver figura 2.25 de interconexión.

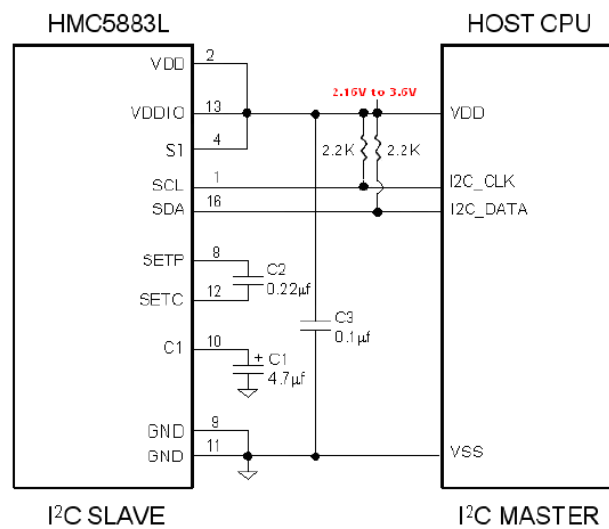


Figura 2.25. Esquema interconexión del magnetómetro de Honeywell HCM5883L

Todas las transiciones en la línea SDA deben ocurrir cuando SCL es bajo. Este requisito conduce a dos condiciones únicas en el bus asociada con las transiciones SDA cuando SCL es alta.

- Dispositivo maestro tirando de la línea SDA bajo, mientras que la línea SCL es alto indica el inicio (S) condición y
- La condición de parada (P) es cuando la línea SDA se tira alto, mientras que la línea SCL es alta.

El protocolo I2C también permite reiniciar la condición en la que el dispositivo maestro emite una segunda condición de arranque sin la emisión de una parada.

Todas las transacciones de bus las inicia el dispositivo maestro realizando la emisión de la secuencia de arranque seguido por la dirección de byte esclavo.

HARDWARE ACS

El byte de dirección contiene:

- la dirección del esclavo; los 7 bits superiores (bits7-1), y
- el bit menos significativo (LSB), designa si la operación es una lectura (LSB = 1) o una escritura (LSB = 0).

En el noveno pulso de reloj, el dispositivo esclavo que recibe emitirá el ACK (o NACK). A raíz de estos eventos en el bus, el maestro enviará bytes de datos para una operación de escritura, o el esclavo los datos con una operación de lectura.

Todas las transacciones de bus se terminan con la emisión de una secuencia de parada por el maestro.

2.5 ACTUADORES.

2.5.1 Magnetopar.

Los magnetopares utilizan bobinas magnéticas para generar momentos dipolares magnéticos. Pueden utilizarse para compensar los campos magnéticos residuales de la nave o para generar pares mecánicos interactuando con el campo magnético existente en el espacio. Producen pares de torsión proporcionales y perpendiculares al campo magnético de la órbita. Normalmente se utilizan con los campos magnéticos naturales de la Tierra, por ello son menos eficaces en las órbitas más altas.

Los magnetopares “of-the-shelf” encontrados en el comercio no se ajustan a los requisitos para esta misión. Por lo tanto, se realiza el diseño de los mismos.

Están disponibles comercialmente en dos configuraciones típicas:

- en rollos sueltos de alambre con enrollado plano y
- en bobinas enrolladas firmemente alrededor de una varilla permaloy (níquel y hierro)

ESPECIFICACIONES DE DISEÑO:

- Potencia consumida: Máximo 125 mW para cada una de las bobinas.
- Forma de Operación: 2 a la misma vez y no tienen funcionamiento constante.
- Peso: 20 gr por bobina.
- Dipolo generado por cada bobina: 0.05 A.m².
- Alimentación : mínima tensión 4.9V
- Dimensiones máximas de la PCI soporte: 10x10 cm. (formato PC104)
- Temperaturas de funcionamiento:
 - Mínima: -50°C
 - Nominal: 20°C
 - Máxima : 100 °C

Seleccionar un rango de temperatura de -50°C a +100°C representado seleccionar componentes de la categoría Industrial y/o militar. Ello supone un encarecimiento de los materiales y por tanto del sistema.

2.5.1.1 Magnetopar de Espira Cuadrada.

La figura 2.26 representa una espira cuadrada colocada en un campo magnético B

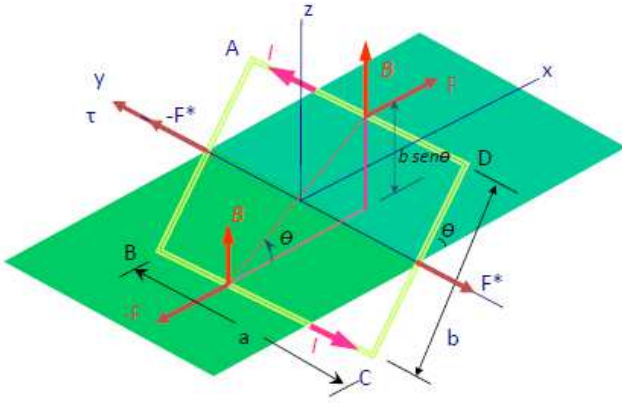


Figura 2.26. Fuerzas y campos de una espira cuadrada

Los momentos a estudiar para su diseño son los indicados a continuación:

A- Momento magnético de la bobina:

$$M = N \cdot A \cdot I \cdot B \cdot \sin \phi$$

Considerando:

$$A = a \cdot b \text{ área de la espira y}$$

$$m = N \cdot A \cdot I, \text{ momento de la bobina}$$

la expresión anterior puede expresarse como un vector, que al cruzarlo con el momento debido a la tierra (Bearth) genera un par mecánico M:

$$\vec{M} = \vec{m} \times \vec{B}_{earth}$$

El tamaño y espacio ocupado por las bobinas de espira cuadrada podría ser el indicado en la tabla 2.5 y representado en la figura 2.27.

Tabla 2.5. Parámetros físicos de las bobinas

PARAMETRO	SIMBOLO	VALOR	Unidades
Anchura máxima	b	80,5	mm
Altura máxima	h	97,5	mm
Anchura máxima sección transversal bobina	b _c	2	mm
Altura máxima sección transversal bobina	h _c	5	mm

HARDWARE ACS

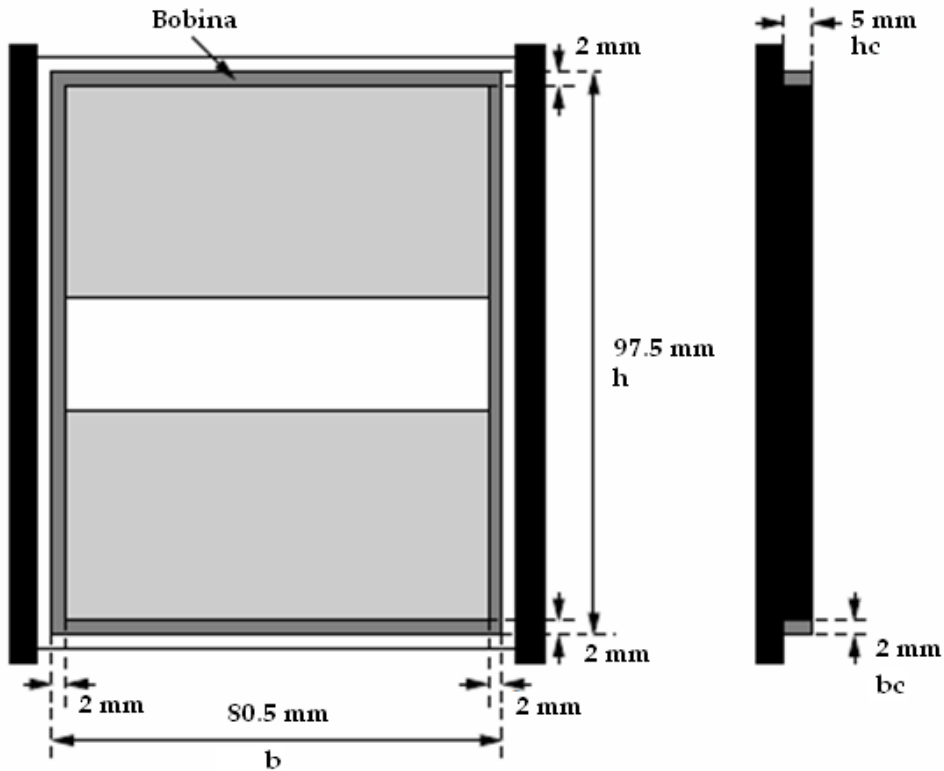


Figura 2.27. Dimensiones del magnemagnetopar de forma rectangular

Con los valores indicados en la tabla 2.5 obtenemos todos los parámetros necesarios para el diseño, se indican en la tabla 2.6

Tabla 2.6. Parámetros físicos de las bobinas

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Ancho de la bobina	B	80,5	mm
Altura de la bobina	H	97,5	mm
Ancho sección	Bc	2	mm
Longitud sección	Hc	5	mm
Área sección ($hc \cdot bc$)	Ac	10	mm ²
Altura media de la bobina ($h-bc$)	hm	95,5	mm
Ancho medio de la bobina ($b-bc$)	bm	78,5	mm
Area media ($(b-bc) \cdot (h-bc)$) =	A	7496	mm ²
Circunferencia media ($2(b+h)$)	C	356	mm
Masa total de la bobina	Mc	20	gr
Mínima Tensión en la bobina	V _{c,min}	4.9	V
Potencia máxima por bobina	P _{max}	125	mW
Dipolo generado por la bobina	m	0.05	A·m ²
Temperatura mínima	T _{min}	-40	°C
Temperatura normal	T	20	°C
Temperatura máxima	T _{max}	100	°C

HARDWARE ACS

DISEÑO DEL MAGNETOPAR

a- La masa de cada bobina, M_c , viene dada por la expresión:

$$M_c = N \cdot C \cdot a_w \cdot \rho_w \quad (1)$$

Siendo:

N , número de vueltas de la bobina

C , circunferencia media, dimensiones mecánicas.

a_w , área de la sección transversal de cada hilo

ρ_w , densidad del material del hilo.

b- Potencia disipada

$$P_c = V_{c,\min} \cdot I_c = \frac{V_c^2}{R_c} = I_c^2 \cdot R_c \quad (2)$$

Siendo

P_c potencia disipada

R_c la resistencia de la bobina.

$V_{c,\min}$ tensión mínima en la bobina

I_c corriente por la bobina

La resistencia del hilo utilizado para la bobina viene dada por la expresión:

$$R = \frac{N \cdot C \cdot \sigma_T}{a_w} \quad (3)$$

Con

N Numero de vueltas

C Circunferencia media

σ_T resistividad del material, $\sigma_T = \sigma_0 (1 + \alpha_0 \cdot \Delta T)$, es máxima a T_{\max} .

a_w area de la sección del hilo a utilizar.

c- Momento magnético

$$m = N \cdot I_c \cdot A \quad (4)$$

donde

HARDWARE ACS

m momento magnetico a generar

N número de vueltas

Ic corriente en la bobina

A area de la bobina

Los principales factores de diseño son: masa (M_c), mínima tensión en la bobina ($V_{c,min}$) y potencia P_c . Con estos parámetros se realiza el cálculo de la resistencia de la bobina, y se determina la sección del hilo a utilizar.

Calculo de la sección del hilo

Realizamos algunas operaciones, insertamos (1) en (2), obteniendo:

$$P_c = \frac{\rho \cdot \sigma(T) \cdot m^2}{M_c} \cdot \left(\frac{C}{A}\right)^2$$

$$m = \frac{A}{C} \cdot \sqrt{\frac{M_c \cdot P_c}{\rho \cdot \sigma(T)}} \quad (5)$$

El momento magnético es máximo cuando el producto $\rho \cdot \sigma$ es mínimo. Ambos parámetros dependen del material, los materiales candidatos son el Cu y Al, ver tabla 2.7.

Tabla 2.7. Datos de hilos de cobre y aluminio

Parámetro	Símbolo	Cobre	Aluminio	Unidad
Densidad del material	ρ	$8.93 \cdot 10^{-03}$	$2.7 \cdot 10^{-03}$	g / mm^3
Resistividad del material	σ	$1.55 \cdot 10^{-05}$	$2.5 \cdot 10^{-05}$	$\Omega \cdot mm$
Coefficiente de temperatura de la resistividad	α_0	$3.90 \cdot 10^{-03}$	$3.90 \cdot 10^{-03}$	$1/^{\circ}K$

Según esta tabla, las consideraciones de peso hacen que el aluminio (Al) sea más favorable que el cobre (Cu) ya que el producto $\rho \cdot \sigma$:

$$\text{Aluminio} \rightarrow 6,75 \cdot 10^{-2} \Omega \text{ g/mm} = 0,0675 \Omega \text{ g/mm}$$

$$\text{Cobre} \rightarrow 0,14 \Omega \text{ g/mm}$$

Es menor para el aluminio. Por otro lado es necesario que el diámetro del hilo utilizado sea bajo para poder poner muchas vueltas en un volumen pequeño que debe ocupar el magnetopar:

$$N = \frac{M_c}{C \cdot a_w \cdot \rho} \quad (6)$$

HARDWARE ACS

El menor diámetro del hilo viene limitado por el valor óhmico de la R_c , ya que si $d \ll \lambda \Rightarrow a_w \ll \lambda$ y $R_c \gg \lambda$. La máxima R_c coincide con la σ_{\max} , lo cual sucede a la T_{\max} .

$$R_{c,\max} = \frac{V_{c,\min}^2}{P_c} = \frac{N \cdot C \cdot \sigma_{\max}}{a_{w,\min}}$$

$$R_{c,\max} = \frac{V_{c,\min}}{P_c} = \frac{M_c \cdot C \cdot \sigma_{\max}}{C \cdot a_{w,\min} \cdot \rho} \Rightarrow a_{w,\min} = \frac{1}{V_{c,\min}} \cdot \sqrt{\frac{M_c \cdot P_c \cdot \sigma_{\max}}{\rho}} \quad (7)$$

El área de la sección transversal mínima del cable es $a_{w,\min} = 0.00818 \text{ mm}^2$, lo cual indica que el diámetro mínimo del cable será $d = 0.102 \text{ mm}$.

Para el aluminio (Al) el mínimo diámetro es de 1.1, por lo tanto debemos seleccionar el cobre (Cu) como material para el hilo. De las tablas del [anexo I](#) seleccionamos un hilo de diámetro $d=0.106 \text{ mm}$.

Los resultados de un diseño interactivo se muestran en la tabla 2.8

Tabla 2.8. Parámetros de diseño magnetorpar

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Diámetro del hilo	d_w	0.106	mm
Numero de vueltas	N	415	
Masa de la bobina	M_c	18	g
Corriente Nominal	I	25	mA
Momento magnetico	m	64	mAm2
Área sección hilo con aislamiento	A_w	9.1	mm2



Figura 2.28. Magnetopar de forma rectangular

2.5.1.2 Magnetopar Solenoide o de Barra.

Los magnetopares basados en solenoides (también conocidos como barras de torsión o magnetopar-rods) son ampliamente utilizados como sistemas actuadores de control de actitud de satélites geoestacionarios satélites , pequeños satélites y microsátélites . Un solenoide magnético ó varilla magnética es esencialmente una largo alambre de cobre alrededor de un núcleo . El material del núcleo puede ser aleaciones especiales o simplemente aire (vacío en el espacio). Con un núcleo de metal , la varilla magnética puede generar un mayor momento dipolar magnético a expensas de un mayor momento residual en comparación con el tipo de núcleo de aire . Los solenoides están diseñados para generar momentos dipolares que interactúan con el campo magnético de la Tierra y generar pares con fines de control de actitud activa para naves espaciales.

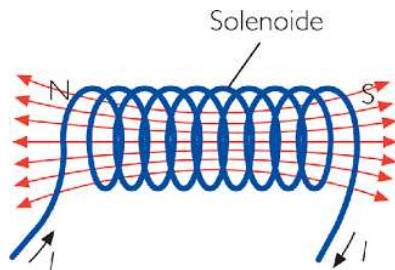


Figura 2.29. Solenoide.

Campo magnético del par

La definición de las variables para el torque magnético se muestran en la figura 2.30, en la que

- M, es el momento dipolar del perno para girar,
- θ , es el ángulo con respecto al eje del torque,
- R es la distancia desde el centro de la bobina, y
- L es la longitud efectiva de la bobina.

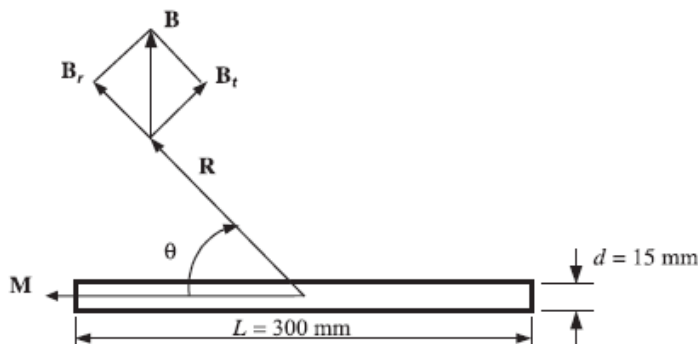


Figura 2.30. Definición de Variables para el magnetopar.

HARDWARE ACS

También, B es la densidad de flujo magnético, B_r y B_t son las componentes radial y tangencial de B , respectivamente

$$\vec{B} = \vec{B}_r + \vec{B}_t$$

Las expresiones para describir el campo magnético a lo largo de núcleo magnetizado uniformemente de longitud L vienen dadas por las expresiones:

$$B_r = \frac{\mu_0}{4 \cdot \pi} M \cdot \left[\frac{\frac{R}{L} - \frac{\cos \theta}{2}}{\left(R^2 + R \cdot L \cdot \cos \theta + \frac{L^2}{4} \right)^{3/2}} - \frac{\frac{R}{L} + \frac{\cos \theta}{2}}{\left(R^2 + R \cdot L \cdot \cos \theta + \frac{L^2}{4} \right)^{3/2}} \right] \quad (2)$$

$$B_t = \frac{\mu_0}{4 \cdot \pi} M \cdot \left[\frac{\frac{\sin \theta}{2}}{\left(R^2 - R \cdot L \cdot \cos \theta + \frac{L^2}{4} \right)^{3/2}} + \frac{\frac{\sin \theta}{2}}{\left(R^2 + R \cdot L \cdot \cos \theta + \frac{L^2}{4} \right)^{3/2}} \right] \quad (3)$$

Donde

$$B_r = \|\vec{B}_r\|, \quad B_t = \|\vec{B}_t\|, \quad M = \|\vec{M}\|, \quad R = \|\vec{R}\|$$

y

μ_0 es la permeabilidad de vacío, que tiene el valor $4\pi \times 10^{-7} \text{ H / m}$.

Las ecuaciones anteriores son válidas para la condición

$$R \geq \frac{L}{2}$$

Hay dos orientaciones especiales a lo largo de las cuales el campo magnético toma una expresión más sencilla:

- dirección axial del magnetopar para girar, donde $\theta = 0^\circ$
- dirección perpendicular a lo largo de la línea media del magnetopar, donde $\theta = 90^\circ$.

Las expresiones matemáticas en estas dos direcciones son las indicadas a continuación:

HARDWARE ACS

Para $\theta = 90^\circ$:

$$B_r = 0 \text{ y}$$

$$B_r = \frac{\mu_0}{4 \cdot \pi} M \cdot \left[\frac{1}{\left(R^2 + \frac{L^2}{4} \right)^{3/2}} \right] \quad (5)$$

Para $\theta = 0^\circ$:

$$B_r = \frac{\mu_0}{4 \cdot \pi} M \cdot \left[\frac{\frac{R}{L} - \frac{1}{2}}{\left(R^2 - R \cdot L + \frac{L^2}{4} \right)^{3/2}} + \frac{\frac{R}{L} + \frac{1}{2}}{\left(R^2 + R \cdot L + \frac{L^2}{4} \right)^{3/2}} \right]$$

$$B_t = 0$$

Momento dipolar de un par magnetico

Reescribiendo las ecuaciones obtenemos:

For $\theta = 90^\circ$:

$$M = \frac{4 \cdot \pi}{\mu_0} \cdot \left(R^2 + \frac{L^2}{4} \right)^{3/2} \cdot B_t$$

For $\theta = 0^\circ$:

$$M = \frac{4 \cdot \pi}{\mu_0} \cdot \frac{1}{\frac{\frac{R}{L} - \frac{1}{2}}{\left(R^2 - RL + \frac{L^2}{4} \right)^{3/2}} - \frac{\frac{R}{L} + \frac{1}{2}}{\left(R^2 + RL + \frac{L^2}{4} \right)^{3/2}}} \cdot B_t$$

Es evidente que el momento dipolar de un perno para girar de forma magnética podría ser obtenido si se conoce la densidad de flujo magnético. Ahora, el problema de obtener el momento dipolar de un perno para girar se convierte en el problema de obtener la densidad de flujo magnético en una ubicación y orientación conocida.

HARDWARE ACS

Diseño del magnetopar

Para cumplir con los requisitos de masa y potencia, una masa ,M, máxima de 30 gramos y un consumo de potencia máximo , P, de 0,2 W se establecieron. La tensión de alimentación máxima típica, V, esta entre 3,7 V y 4,2 V.

Después de combinar las ecuaciones de energía y la masa (1),

$$\begin{aligned} R &= \frac{V}{P}, \\ l_w &= \frac{R}{W_w}, \\ M &= \pi \cdot r_w^2 \cdot l_w \cdot \rho_w + \pi \cdot r_c^2 \cdot l_c \cdot \rho_c \end{aligned} \quad (1)$$

Donde: R, es la resistencia,
 W_w , es la resistividad del alambre, y
 ρ , es la densidad,

Resolviendo para la longitud l_c y el radio r_c del núcleo, obtenemos la ecuación::

$$r_c^2 \cdot l_c = \frac{M}{\pi \cdot \rho_c} - \frac{\rho_w \cdot r_w \cdot V^2}{\rho_c \cdot P \cdot W_w}$$

El factor de desmagnetización del magnetopar viene dado por la ecuación:

$$N_d = \frac{4 \cdot \left[\ln\left(\frac{l_c}{r_c}\right) - 1 \right]}{\left(\frac{l_c}{r_c}\right)^2 - 4 \cdot \ln\left(\frac{l_c}{r_c}\right)}$$

Se utilizó un análisis paramétrico del efecto de la longitud del núcleo y el radio del núcleo momento dipolar magnético, D, para determinar la longitud óptima y el radio del material de

HARDWARE ACS

núcleo, dado el grosor y longitud del hilo para satisfacer los requisitos de energía y momento bipolar.

$$D = \frac{r_c \cdot V}{2 \cdot W_w} \cdot \left[1 + \frac{\mu_r - 1}{1 + (\mu_r - 1) \cdot N_d} \right]$$

Para maximizar el campo generado con las dimensiones dadas y cumplir con las especificaciones de diseño, se realizó un prototipo con núcleo de permalloy de 70mm de largo e hilo 36AWG para proporcionar una potencia de carga máxima de 200 mW con 4.2V de alimentación. Los resultados se muestran en la Tabla 2.9.

Tabla 2.9. Parámetros del magnetopar

Parámetro	Valor	Unidades
Dipolo magnético máximo	0.37	$A \cdot m^2$
Masa	28	G
Número de vueltas	6063	
Diámetro del núcleo	5.7	mm
Diámetro del hilo	0.127	mm
Resistencia del hilo	121	Ω
Intensidad máxima	34.7	mA

La figura 2.31 muestra un magnetopar de tipo solenoide.



Figura 2.31. Magnetopar de solenoide

HARDWARE ACS

2.5.1.3 Circuito Equivalente.

Eléctricamente el magnetopar equivale a una inductancia en serie con una resistencia, constituyendo un circuito RL serie de primer orden.

Este tipo de circuito tiene una función de transferencia dada por la ecuación:

$$H(j\omega) = \frac{1}{1 + j\omega \frac{L}{R}}$$

donde la constante de tiempo τ_c , definida como el tiempo requerido para la señal de salida es 2/3 de la señal de entrada, es:

$$\tau_c = \frac{L}{R_c}$$

dado que R_c depende de la temperatura, también τ_c dependerá de la temperatura.

Resistencia nominal : 1,939 Ω /m (Hilo utilizado)

Longitud bobina = 0,356 m * 415 = 147,74 m

Resistencia total = 1,939 * 147,74 = 286,47 Ω .

2.5.2 Circuitos de Control del Magnetopar. Drivers

Aunque el microcontrolador seleccionado (uC) es capaz de suministrar hasta 25 mA por cada unidad de E / S, conmutar cargas inductivas directamente el uC no se recomienda debido a las altas corrientes de entrada y los picos de tensión típicos para cargas inductivas. Por lo tanto, la conducción de los magnetopars requiere un interfaz electrónico, que se conoce como un "driver del magnetopar" (figura 2.32).

HARDWARE ACS

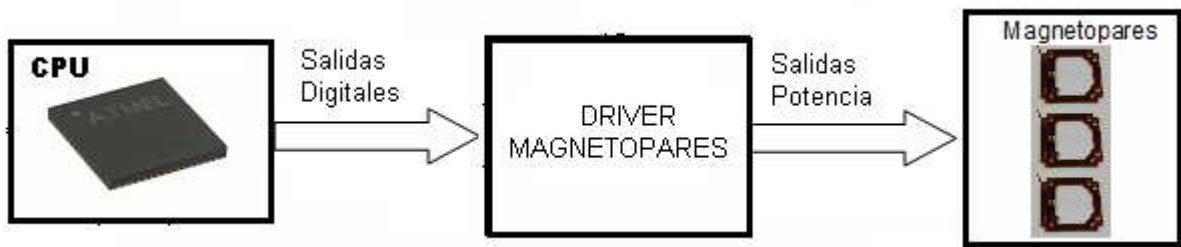


Figura 2.32. Circuito driver del magnetomagnetopar

Cada uno de los canales del controlador de la bobina debe ser capaz de manejar el magnetomagnetopar conectado con un microcontrolador, el cual le da las órdenes y el nivel de corriente bidireccional en el régimen de mili-amperios. Además, los tres canales del controlador deben ser capaces de funcionar totalmente independiente el uno del otro.

Se puede utilizar una etapa de transistor discreta en configuración de puente en H con este fin. Se puede utilizar transistores bipolares (BJT) o transistores de efecto de campo (FET). Las ventajas de este tipo de la electrónica son una naturaleza inherentemente bi-direccional y la certeza de corrientes de carga cero, mientras que la etapa de potencia está en reposo.

La carga, es decir, el magnetomagnetopar, se puede conectar o desconectar, con la dirección de la corriente determinada para completar un ciclo. Cuando el magnetomagnetopar está encendido, la corriente es máxima, y cuando se apaga, no fluye corriente.

Los actuales niveles intermedios, se pueden conseguir teóricamente aplicando una forma de onda PWM con ciclo de trabajo variable y la frecuencia de base alta, debido a ser inductiva de la carga. Los microcontroladores permiten la generación de formas de onda PWM con una selección de frecuencia flexibles fácilmente llegar hasta 100 kHz.

Con el fin de mantener un nivel de corriente deseado en presencia de los cambios de temperatura es necesario implementar un controlador de realimentación, utilizando mediciones de corriente del magnetomagnetopar como variable de retroalimentación. Se supone que los actuales niveles predecibles y constantes sólo pueden establecerse en la región lineal.

HARDWARE ACS

Como se ha indicado, la excitación de la bobina puede realizarse como si fuese la bobina de un motor bipolar paso a paso con una tensión nominal de 5V, con un consumo medio aproximado de 50mA por bobina.

La alternativa mas sencilla, desde el punto de vista electrónico, para el control de este tipo de motores es el puente H. Dentro de las alternativas comerciales, una de las mas populares y económicas son los integrados A3901 y A3908. Seleccionamos este último dado que posee algunas

características mejores que el primero, [Anexo F](#).

La aplicación típica del driver se indica en la figura 2-

33

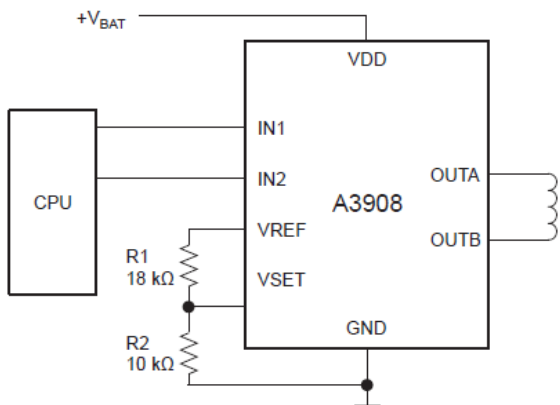


Figura 2.33: Driver de magnetopares A3908

El A3908 regula la tensión a través de la bobina del motor. El voltaje a través del terminal OUTA y el terminal OUTB se detecta y se compara con un tensión de umbral interna.

$$V_{OUT} = 4 \cdot V_{REF} \cdot \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right)$$

Siendo $V_{REF} = 1.285V$ (valor típico). Entonces, para el modo directo

$$V_{OUT} = V_{OUTA} - V_{OUTB}$$

y para el modo inverso

$$V_{OUT} = V_{OUTB} - V_{OUTA}$$

Tiene los siguientes modos de funcionamiento:

-Apagado térmico. El A3908 deshabilitará las salidas si la temperatura de la unión, T_J , llega a $165^\circ C$. Tiene $15^\circ C$ de histéresis, así que cuando la temperatura de la unión cae por debajo de $150^\circ C$, se iniciará el dispositivo funcionando con normalidad.

-Modo deserción. Cuando la tensión de alimentación del motor, VDD, cae demasiado en comparación al valor regulado, el IC entra en el modo de deserción.

HARDWARE ACS

-Modo de frenos. Cuando ambas entradas son altas, el A3908 entra en modo de frenado. No hay protección durante el frenado, por lo que la atención se debe tomar para asegurarse de que la corriente de pico no supere la corriente máxima absoluta, IOUT.

- Modo en espera. Para minimizar el consumo de batería, en el modo de espera se apagará toda la circuitería y conducirá típicamente menos de 100 nA.

La energía consumida se puede aproximar sobre la base de los siguientes tres componentes:

$$P_{D(src)} = I_{LOAD} (V_{DD} - V_{REG})$$

$$P_{D(sin k)} = I_{LOAD} \times R_{DS(sin k)}$$

$$P_{bias} = I_{DD} \times (V_{DD})$$

La tabla 2.10 indica el modo de control del driver

Tabla 2.10. Control driver

IN1	IN2	OUTA	OUTB	MODO
0	0	Off	Off	Espera
0	1	Bajo	V _{REG}	Inverso
1	0	V _{REG}	Bajo	Directo
1	1	Alto	Alto	Frenado

2.6 ALIMENTACIÓN DEL ACS.

La tabla 2.11 muestra las tensiones de alimentación de cada bloque del sistema.

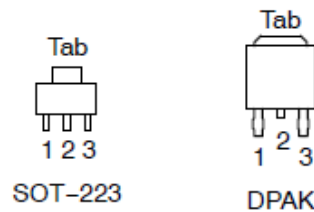
Tabla 2.11: Tensiones de alimentación

Módulo	5V	3.3V
ACS-CPU		X
Sensores	X	
Actuadores	X	
Memoria Almacenamiento		X

Si la tensión de entrada a la unidad es superior ó igual a 5V, será estabilizada y regulada utilizando reguladores de tensión de salida 5V, como puedan ser los reguladores lineales de la familia LM317. Para conseguir la alimentación de 3.3 V, necesarias para el microcontrolador y las memorias de almacenamiento, se utiliza un regulador serie del tipo *LDO* (*Low DropOut*: NCP1117 . En la Figura 2.34 se muestra la configuración de los pines en los dos tipos de encapsulados existentes.

Figura 2.34. Regulador NCP1117.

PIN CONFIGURATION (Top View)



Heatsink tab is connected to Pin 2.

Pin: 1. Adjust/Ground
2. Output
3. Input

Las características del regulador son:

- Máxima corriente de salida 1A
- 1.2 V Máxima caída de tensión a 800 mA con sobre temperatura: 1.2V
- Tensión fija de salida 3.3 V
- Opción de tensión de salida ajustable
- No requiere mínima carga para obtener la tensión de salida
- Protección de temperatura, seguridad de operación y límite de corriente.
- Máxima tensión de entrada: 20 V.

HARDWARE ACS

A modo de recordatorio, un regulador *LDO* es un tipo de regulador lineal, donde la caída de tensión entre la salida y la entrada puede ser muy pequeña, y aun seguir operando correctamente; servirá para generar la tensión de 3.3 VDC a partir de 5 VDC. La figura 2.35 muestra la configuración típica del regulador para conseguir las alimentaciones indicadas. La referencia para comprar dicho material sería la propuesta en la tabla 2.12

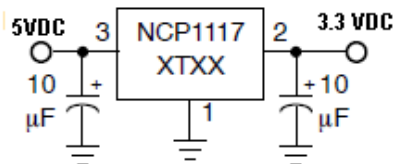


Figura 2.35. Regulador NCP1117.

Tabla 2.12. Referencia del regulador de tensión

Dispositivo	Tensión de salida	Encapsulado
NCP111733G	3.3 VDC	DPAK (Pb-Free)

La fuente de alimentación principal se proporcionara a través del conector del Bus de la unidad y tendrá un valor de 5VDC ó superior. No deberá superar en ningún caso 6VDC, según especificación del fabricante.

2.7 PLACA CIRCUITO IMPRESO (PCI) Y CONECTORIZACIÓN.

El formato de la placa sigue el estándar PC/104 (90 x 96 mm), en su versión de 8 bit. Un esquema de la misma se indica en la figura 2.36

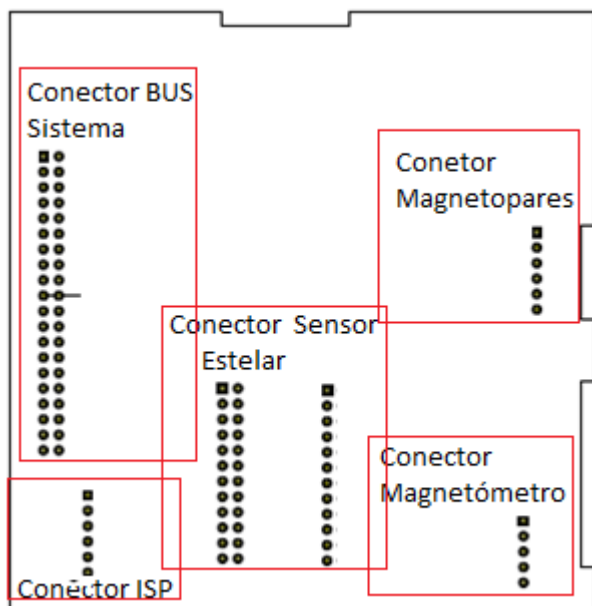


Figura 2.36. PCB formato PC104, con su conectorización.

En esta PCI será necesario colocar toda la electrónica. Además, deberá llevar los conectores de interfaz con el resto del sistema:

- Magnetopares. Será un conector de 6 terminales que se versionara en tres conectores de 2 terminales.
- Sensor estelar. Serán dos conectores, uno de 2x12 terminales y otro de 1x12 terminales.
- Magnetómetro. Conector de 5 terminales.

El diseño de la PCB consiste en la definición del esquema de la tarjeta física que es mostrado en la Figura 2.38. Las actividades de diseño comprenden la definición del diseño de la placa combinando con la colocación pieza y rutas manuales.

Dadas las características del ACS (funcionamiento hasta 80 MHz) se considera necesario desarrollar la PCI ó PCB (en inglés) en formato multicapa. En concreto se realizara en cuatro capas con las dimensiones y espesores indicados en la figura 2.37. Son distribuidas según el siguiente criterio:

HARDWARE ACS

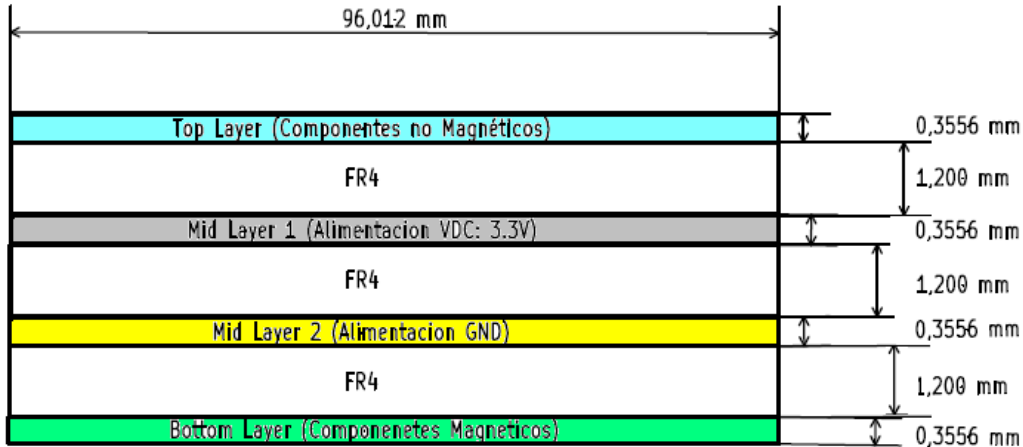


Figura 2.37. PCI del sistema ACS

- Layer Bottom : Capa de componentes magnéticos (magnetopares). Deberá utilizarse ELASTOSIL-A07 para la fijación de los componentes magnéticos. [Anexo K](#)
- Layer Middle 2: GND (digital y analógica de la unidad). Deberá tenerse cuidado con este diseño, ya que puede ser necesario separar las masas digitales y analógicas.
- Layer Middle 1: Alimentación positiva (3.3 VDC).
- Layer Top: Capa de componentes no magnéticos (CI, resistencia, etc). Se pensará en realizar una posible jaula de Faraday para evitar interferencias electromagnéticas de la layer bottom.

En las figuras siguientes se muestran las distintas capas de la PCI, así como el diseño de la misma

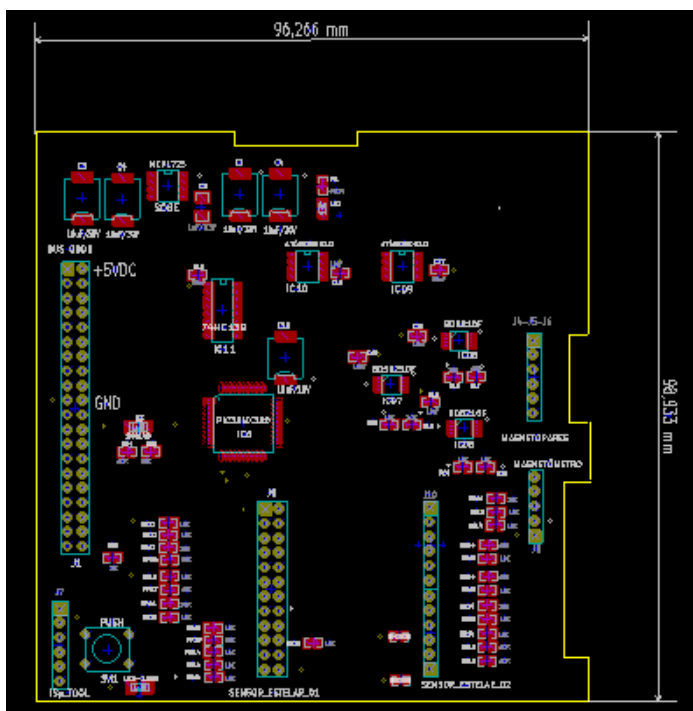


Figura 2.38. PCI de la unidad ACS.
Posicionamiento de los componentes electrónicos.

HARDWARE ACS

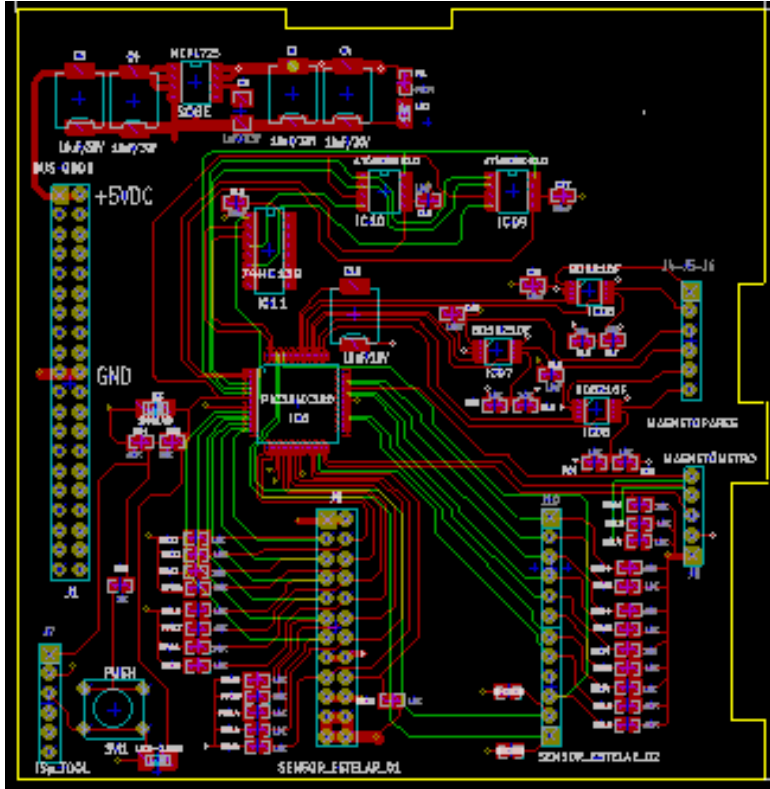


Figura 2.39. PCI de la unidad ACS. Capas 1 y 4 con el trazado de pistas

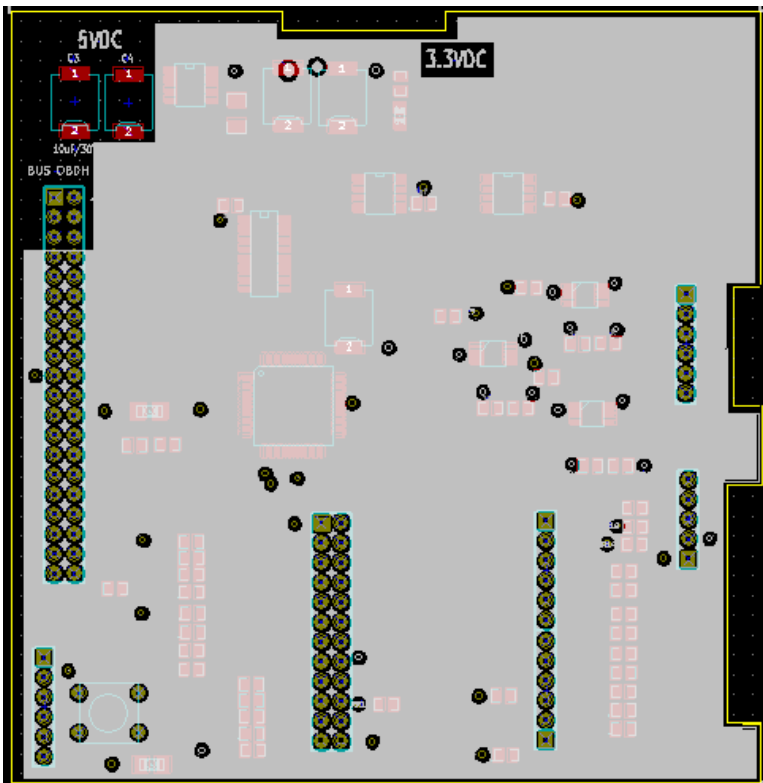


Figura 2.40. PCI de la unidad ACS. Capas 2 Alimentación positiva (3.3V)

HARDWARE ACS

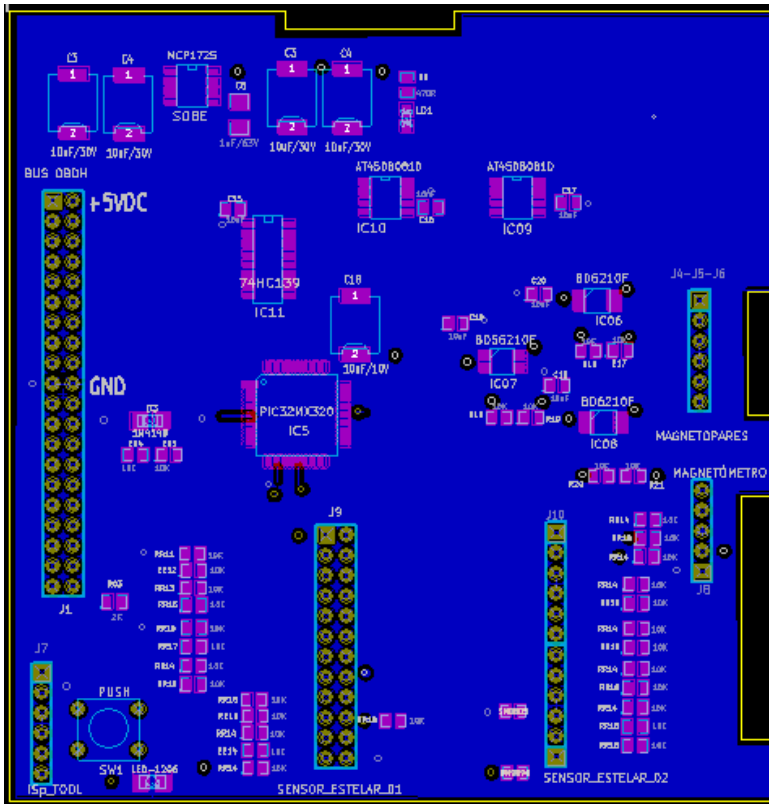


Figura 2.41. PCI de la unidad ACS.
Capas 2 Plano de masa (0V)

En la figura 2-42 se muestra la unidad ACS en formato 3D.

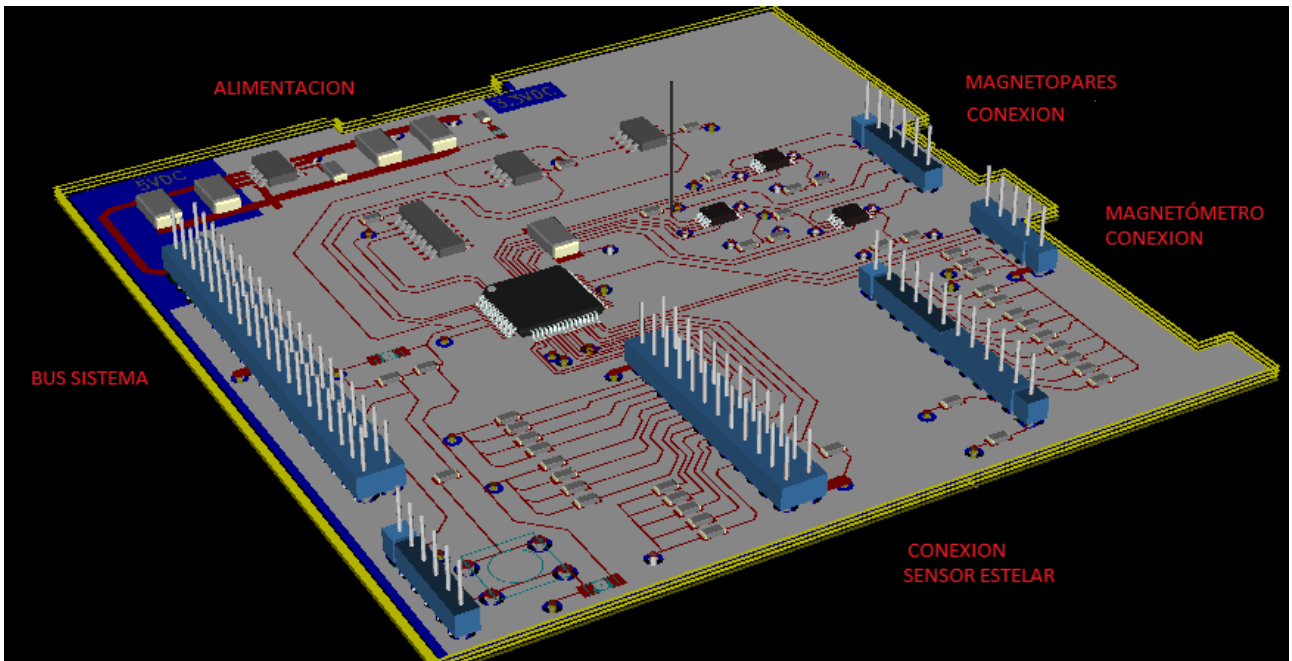


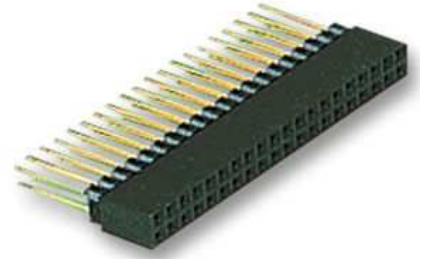
Figura 2-42. Unidad ACS

HARDWARE ACS

2.7.1 Conectores Interfaz.

La figura 2.43 indica el conector para la interfaz con las demás placas del picosatélite

Figura 2.43. Conector interfaz Bus Sistema .



Los conectores para los magnetopares deben soportar una corriente máxima de unos 100 mA. En un principio no se necesita una conectorización especial. Ponemos los conectores como los indicados en la figura 2.44. Por cada magnetopar se utiliza uno de estos conectores.

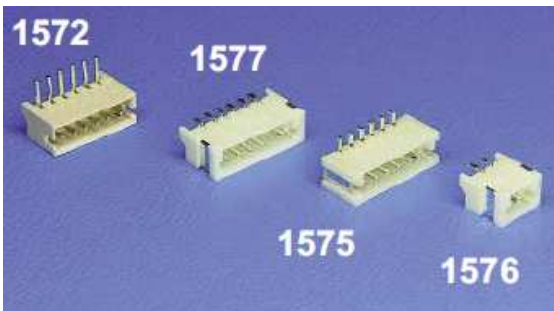


Figura 2.44. Conector BCEK252V de CONEXCOM

2.8 COMPONENTES PASIVOS.

Se utilizarán resistencias de precisión de bajo coeficiente de temperatura, con objeto de reducir al mínimo los errores debidos a las tolerancias. Se seleccionarán de montaje superficial (SMD).

Las variaciones de las resistencias con la temperatura se realizaron para -30°C , 25°C y 120°C . Los parámetros a tener en cuenta son: coeficiente de temperatura de resistencias de 100 ppm.

Las corrientes por la bobina son las indicadas en la tabla 2.13:

Tablas 2.13. Corrientes en el magnetopar.

Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Corriente (mA)
-30	50.286
25	50.01
120	49.539

Siendo la variación máxima de 0.461 mA con respecto a la deseada de 50 mA. Es decir, se conseguirá una tensión de salida con una tolerancia de $\pm 1\%$, para una diferencia de temperatura de unos 100°C . la resistencia limitadora deberá ser una resistencia de bajo coeficiente de temperatura (10 ppm).

HARDWARE ACS

3. ESQUEMAS ELÉCTRICOS DEL ACS

HARDWARE ACS

HARDWARE ACS

Los esquemas eléctricos del ACS pueden verse en el siguiente enlace:

[Esquemas ACS](#)

[Esquemas Magnetometro](#)

[Esquemas SensorEstelar](#)

Existen cuatro hojas y dos hojas de los sensores :

1. Alimentación de la Unidad
2. Interconexión USB para compatibilidad con entorno MPIDE
3. Control del ACS. Interconexión con los periféricos que componen el ACS
4. Circuitos conexión magnetopares, magnetómetros y memoria almacenamiento
5. Sensor Magnetómetro
6. Sensor Estelar

HARDWARE ACS

4. SOFTWARE BASE del ACS

4.1 DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE.

El software se proyectó para ser multiplataforma, dando soporte a microcontroladores PIC de Microchip, para ello se selecciona el lenguaje C y C++. Estos lenguajes son el común denominador a la mayoría de plataformas actuales; es el lenguaje de alto nivel que soporta la familia PIC y desde luego x86.

Aprovechando esta cualidad de ser multiplataforma, se consiguió el objetivo de poder llevar a cabo la mayoría del desarrollo sobre el entorno MPIDE desarrollado para los PIC en un PC bajo Windows.

Se plantea el software en dos vertientes:

- Software adaptable a la plataforma hardware (HW) seleccionada. Este software comúnmente se denomina Firmware. En el proyecto se denomina Plataforma PIC y está basada en la plataforma MPIDE.
- Software de aplicación. Es el software independiente de la plataforma hardware seleccionada. En el proyecto se denomina Software Aplicación. Se puede realizar mediante Matlab y posteriormente convertirla a código C++, desde Matlab.

El diagrama de flujo del software del ACS viene representado en la figura 4.1. Puede distinguirse dos fases.

- Modo Star-up. Inicialización de la unidad ACS: CPU, sensores, actuadores, etc.
- Modo Nadir. En este modo se realiza la operativa de ACS.

SOFTWARE BASE ACS

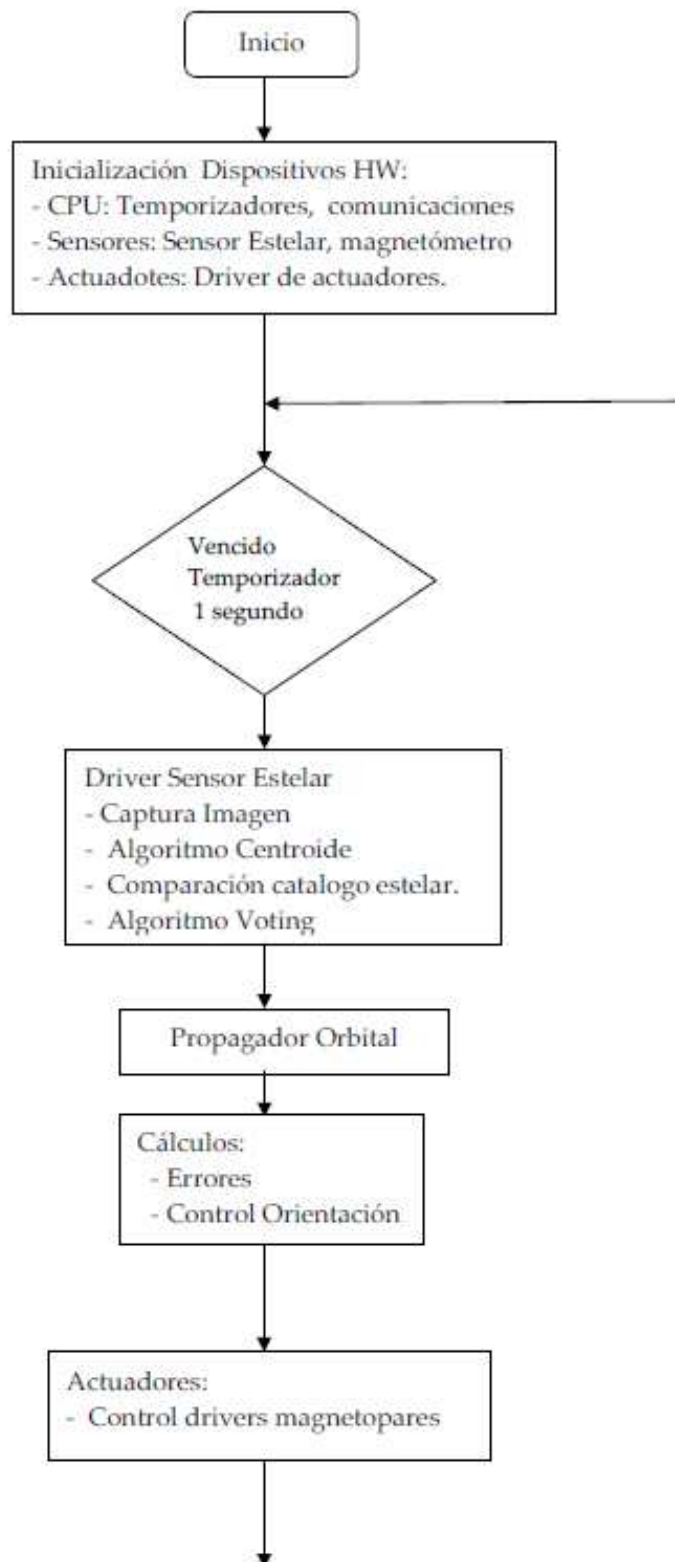


Figura 4.1 Diagrama de flujo software ACS

4.2 PLATAFORMA PIC (MPIDE)

4.2.1 Bootloader

El *bootloader* o cargador, permite grabar el programa en la memoria flash sin necesidad de programador externo, a través del puerto serie usb.

El *bootloader* se graba en una zona concreta de la memoria flash del microcontrolador, al final de la misma. Esta zona no solo tiene significado software, sino que el propio microcontrolador facilita una serie de funcionalidades.

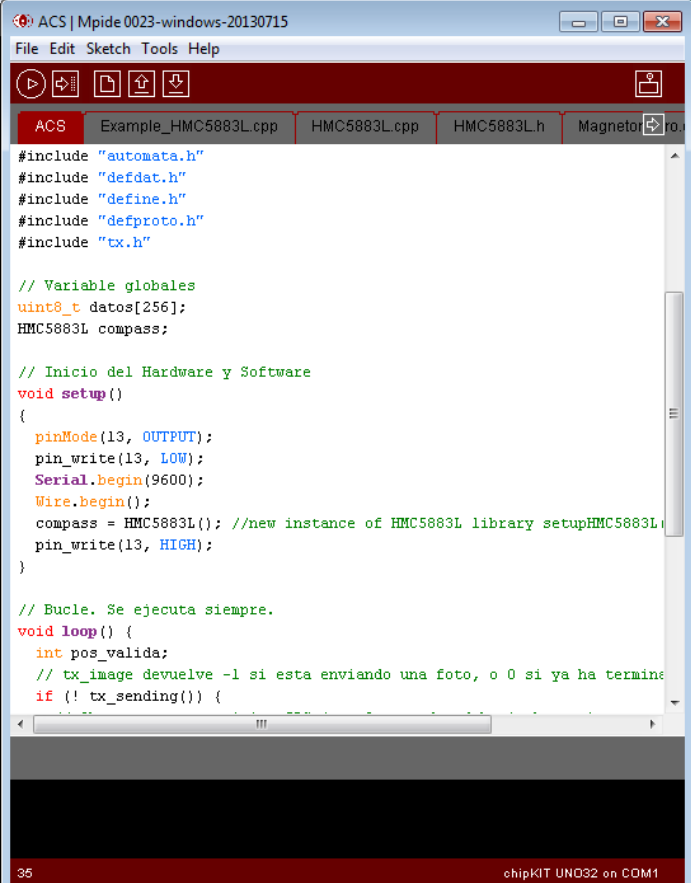
Cuando el microcontrolador comienza la ejecución, el control se transfiere directamente al bootloader, que comprueba si hay que cargar un nuevo programa a través de la UART. En caso contrario, sencillamente salta a la instrucción ubicada en la dirección 0x0000 de la flash, donde reside el programa de usuario.

4.2.2 Sketch

El entorno de desarrollo fuerza a un determinado esquema ciertamente limitado, donde cada programa, que denominan *sketch* (*boceto*, *bosquejo*), se almacena en un único archivo, el cual puede hacer uso de tantas librerías externas como sea necesario. Ver figura 4.2

Un *sketch* no es mas que una capa de abstracción bajo la cual, de forma transparente para el programador, se encuentra un programa para PIC, y que oculta los detalles concretos de la arquitectura y configuración.

Figura 4.2 Entorno de desarrollo MPIDE



```

ACS | Mptide 0023-windows-20130715
File Edit Sketch Tools Help
ACS Example_HMC5883L.cpp HMC5883L.cpp HMC5883L.h Magnetor

#include "automata.h"
#include "defdat.h"
#include "define.h"
#include "defproto.h"
#include "tx.h"

// Variable globales
uint8_t datos[256];
HMC5883L compass;

// Inicio del Hardware y Software
void setup()
{
  pinMode(13, OUTPUT);
  pin_write(13, LOW);
  Serial.begin(9600);
  Wire.begin();
  compass = HMC5883L(); //new instance of HMC5883L library setupHMC5883L
  pin_write(13, HIGH);
}

// Bucle. Se ejecuta siempre.
void loop() {
  int pos_valida;
  // tx_image devuelve -1 si esta enviando una foto, o 0 si ya ha termin
  if (! tx_sending()) {

```

35 chipKIT UNO32 on COM1

SOFTWARE BASE ACS

Esta capa de abstracción esconde la función *main()* de C, que desde luego sigue existiendo, pero no a los ojos del programador. En su lugar, el desarrollador debe definir dos funciones específicas: *setup()* y *loop()*.

De cara al programador, la función *setup()* es el equivalente al *main()*, y es llamada cuando el entorno ha realizado las inicializaciones necesarias, a través de la función *init()*, que entre otras cosas configura los temporizadores del microcontrolador y desactiva los pines de la UART, previamente en uso por el *bootloader*, de manera que puedan usarse como pines de entrada / salida.

```
// Inicio del Hardware y Software
void setup()
{
  pinMode(13, OUTPUT);
  digitalWrite(13, LOW);
  Serial.begin(9600);
  Wire.begin();
  compass = HMC5883L(); //new instance of HMC5883L library setupHMC5883L(); //setup the HMC5883L
  digitalWrite(13, HIGH);
}
```

Figura 4.3 función *setup* del software.

Una vez se han ejecutado *init()* - internamente - y *setup()* - definida en el *sketch* por el programador, la función *loop()*, en honor a su nombre (bucle), se llama constantemente. Ver figura 4.4.

```
// Bucle. Se ejecuta siempre.
void loop() {
  int pos_valida;
  // tx_image devuelve -1 si esta enviando una foto, o 0 si ya ha terminado
  if (! tx_sending()) {
    // Obtener nueva posicion GPS (con 2 segundos deberia bastar)
    int timeout = millis();
    do {
      if (Serial.available())
        pos_valida = gps_decode(Serial.read());
    } while ( (millis() - timeout < 2000) && ! pos_valida) ;
  }

  // Envia la imagen
  if(tx_image() == 0) {
    // Cuando termine, para 10 segundos
    delay(10000);
  }
}
```

Figura 4.4 función *loop()* del software.

4.2.3 Tareas y aplicación

El firmware no funciona sobre ningún sistema operativo, sino de forma directa sobre el hardware; sin embargo, el código ejecutado dentro del modo interrupción corresponde a una tarea distinta, y el código ejecutado fuera de las interrupciones como la aplicación principal.

Esta es la manera de implementar multitarea en ausencia de un sistema operativo; es una aproximación, que permite la ejecución de distintas tareas, y exige por parte del programador un buen diseño para el correcto funcionamiento.

4.3 MÓDULOS

El firmware esta altamente modularizado, de manera que las funciones están agrupadas por categoría. La documentación del software es una tarea a la que no siempre se le da la importancia que merece. Como parte de este esfuerzo de documentación, a continuación se van a listar los módulos y su cometido.

Modulo Principal (ACS.pde)

Compuesto por el *sketch* "ACS.pde". La aplicación se basa en la ejecución de un bucle infinito al que denominamos bucle principal, contenido en la función *loop()* dentro del sketch ACS.pde.

Este bucle se ejecutara de forma indefinida, es decir, no puede salirse de él. Para ello se dispone de un reset hardware, que provoca el reinicio de la ejecución, y cuando se ha terminado, es suficiente con cortar el suministro eléctrico al microcontrolador.

Tras la inicialización del sistema, llevada a cabo por la función *setup()* del sketch de MPIDE, comienza la ejecución del bucle principal, que puede verse como la tarea principal, en terminología de sistemas operativos.

Esta tarea principal se encarga de:

- Actualizar los temporizadores del sistema ACS.
- Actualizar los periféricos del sistema.
- Inicializar el temporizador de eventos del sistema (Cada segundo deberá activarse el evento de lectura de la cámara.

Durante el modo de bucle infinito:

- Analizar eventos del sistema ACS.
- Reiniciar dispositivos del ACS
- Realizar Cálculos de actitud del ACS

En el diagrama de bloques del software se indica que existe un temporizador de 1 segundo para realizar las actividades repetitivas del sistema (determinación de la orientación. En esta situación, lo mas indicado es utilizar uno de los temporizadores (*timers*) hardware del microcontrolador.

SOFTWARE BASE ACS

Al igual que muchos otros microcontroladores, el PIC32MX es capaz de generar una interrupción cuando uno de sus *timers* se desborda, pero también cuando alcanza un determinado valor, es el concepto de overflow.

El PIC32M dispone de dos tipos de *timers*, de 8 y de 16 bits. El *timer0* está utilizado para funciones de retardo y de tiempo, por lo que no puede emplearse. Por ello se decide usar el *timer1*, que es el único de 16 bits .

Los registros hardware necesarios para la configuración del timer1 son

- OCR1A (valor de cuenta),
- TCCR1A, TCCR1B (configuración),
- TIMSK1 (activar interrupciones) y
- TCNT1 (para poner a cero la cuenta).

Cuando vence el evento, es decir salta la interrupción, se activa el *flag* correspondiente para que el bucle principal (loop) se encargue de ello.

Esta elección de diseño tiene una doble justificación:

- se mantiene la función de atención de la interrupción lo mas breve posible;
- se separa la lógica de detección con la de actuación.
- en cada ejecución del loop se ejecuta la operación con mayor prioridad en el programa

Modulo Hyg (hyg.ccp)

Este modulo es la capa de abstracción que interpreta el formato interno con el que se almacena el catalogo de estrellas en las memorias del sistema. Son memorias del tipo Flash.

Dentro de este módulo se encuentra el modulo "File" que es la capa de abstracción para acceder al sistema de archivos donde se almacena el catalogo.

Modulo Driver Actuadores(drvact.ccp)

Contiene las funciones para activar los magneto pares y generar el campo magnético adecuado para conseguir orientar el satélite.

Modulo Magnetómetro (magnetómetro.ccp)

Este modulo es usado para manejar el medidor de campos magnéticos.

SOFTWARE BASE ACS

Este modulo se encarga obtener medidas del campo magnético que rodea a la astronave .

Modulo SensorEstelar (sensorestelar.ccp)

Este modulo es usado para manejar el sensor estelar y en concreto el dispositivo CMOS de del sensor estelar.

Este modulo se encarga obtener la imagen obtenida con el CCD KAC-9618. Posteriormente activa el flag de indicación de imagen estelar preparada, de forma que pueda iniciarse el algoritmo de procesamiento de la imagen estelar obtenida.

Modulo Automata (automata.ccp)

Este modulo es el encargado del gobierno de las actividades del ACS. Es el encargado de situar el software de la aeronave en el estado de funcionamiento adecuado a las necesidades del sistema. Es el módulo que sustituye a los sistemas que no incluyen un sistema operativo de tiempo real.

Modulo Librería SPI (spi.ccp)

Partiendo de las funciones de bajo nivel ofrecidas por la *Peripheral Library* de Microchip, esta librería ofrece un interfaz para inicializar el hardware SPI y prepararlos para la comunicación con las memorias flash.

Modulo Print (print.ccp)

Este modulo es usado para mostrar mensajes de depuración. En la plataforma x86, estos son sencillamente volcados en la consola. En la plataforma PIC se envían por hardware del puerto serie del PIC, de forma que un ordenador pueda recibirlos. Este método es muy conveniente, pues el mismo enlace que se usa para recibir esta información es el que sirve para grabar el microcontrolador, gracias a su *bootloader*.

Modulo Librería FAT32 (Opcional) (fat32.ccp)

Interpreta el sistema de archivos de FAT32, que es accesible desde la mayoría de los sistemas operativos modernos. En este sistema, usa la información leída por la librería de SD, para interpretar el sistema de archivos.

SOFTWARE BASE ACS

Modulo Librería común (libreria.ccp)

Contiene código de propósito general requerido de forma común, o por alguna de las librerías desarrolladas.

La versión seleccionada en este proyecto es para los dispositivos de la familia PIC32, para funcionar a 80 MHz (40 MIPS).

SOFTWARE BASE ACS

5. SOFTWARE APLICACIÓN del ACS

5.1 SOFTWARE DE APLICACIÓN

Existen dos software realizados para el reconocimiento de las imágenes recogidas por el star tracker.

- Algoritmos de star tracking
- Reconocimiento de orientación.

5.2 ALGORITMOS DE STAR TRACKING

El proceso de seguimiento de estrellas consta de tres pasos principales:

- centroiding,
- identificación de estrella y
- determinación de actitud.

Centroiding.

Toma la imagen de la cámara y determina las coordenadas de las fuentes de luz en el plano de la imagen, que luego se puede convertir a los vectores unitarios en el sistema de coordenadas de seguimiento.

Identificación de Estrellas.

Los vectores de la unidad en el marco de seguimiento son analizados y comparados con un catálogo de estrellas para determinar qué estrellas están en el marco de la imagen y por lo tanto proporcionar vectores unitarios en el sistema de referencia inercial.

Actitud de la Estrella

Por último, la lista de los vectores de la unidad, tanto en el seguimiento y la inercia marco se ejecuta a través de un algoritmo basado en vectores para determinar la actitud de la estrella del perseguidor en el marco de inercia. La actitud puede ser de salida en varios formatos, entre los más comunes son cuaterniones, ángulos de Euler y matrices coseno de dirección (MCD).

5.3 ALGORITMO DE CENTROIDING

El paso primero para cualquier rastreador de estrellas es determinar la ubicación de las estrellas en la imagen de la fotografía. Si se graban imágenes de las estrellas se centró, la luz de cada estrella se reduciría en sólo una o dos de píxeles y probablemente saturar estos píxeles, dando como resultado una precisión a nivel de píxel.

La mayoría de programas rastreadores de estrellas analizan una imagen borrosa, desenfocada de forma intencionada, con el fin de difundir los fotones sobre más píxeles y permite un algoritmo de centroiding a nivel de subpíxel de precisión.

Después de grabar la imagen desenfocada, el centro de gravedad de la estrella se encuentra al igual que el centro de gravedad de una serie de puntos de masa.

- En primer lugar, la intensidad de la luz es utilizada en lugar de la masa.
- En segundo lugar, la intensidad de la luz es generalmente normaliza los píxeles alrededor de la estrella con el fin de filtrar el resplandor o ruido de fondo. El producto resultante de la centroiding el algoritmo es una serie de coordenadas de dos dimensiones en el plano de la imagen con el origen en el centro de la imagen. Este sistema de coordenadas permite que las coordenadas de las estrellas para ser fácilmente convertidos a vectores de la unidad en un paso posterior.

El siguiente es el algoritmo centroiding utilizado para este rastreador de estrellas. Fue adaptado a partir del método presentado por Liebe [14]. El algoritmo requiere la especificación de los siguientes parámetros:

- luz de intensidad umbral I_{umbral} y
- la región de interés (ROI) α_{ROI} tamaño en píxeles.

Estos valores se pueden seleccionar para ajustar el rendimiento del algoritmo de centroiding. Por ejemplo, un valor más alto del umbral lo hace más robusto respecto al ruido, pero podría perderse algunas estrellas reales en la imagen.

Del mismo modo, un valor grande α_{ROI} significa un valor centroiding más preciso, pero puede

leerse una estrella, donde en realidad hay dos muy juntas. Tener en cuenta que α_{ROI} debe ser un número par para la el algoritmo funcione correctamente.

Centroid algorithm

El algoritmo de centroide se realiza en los siguientes pasos:

1. Para un píxel en la imagen de coordenadas (x, y) con el valor de la intensidad

$$I(x, y) > I_{umbral}$$

el ROI se define como el área de píxeles con un lado de una longitud α_{roi} y la esquina inferior izquierda dada por las ecuaciones:

$$\begin{aligned} x_s &= x - \frac{\alpha_{ROI} - 1}{2} & x_e &= x_s + \alpha_{ROI} \\ y_s &= y - \frac{\alpha_{ROI} - 1}{2} & y_e &= y_s + \alpha_{ROI} \end{aligned}$$

2. Si $x_s < 0$ o $y_s < 0$, desechar el pixel y volver al paso 1 con el siguiente pixel.

3. Encuentre el valor de la intensidad media de los píxeles frontera I_{border} , dada por la ecuación. siguiente . Un ejemplo se muestra con $\alpha_{roi} = 7$ en la figura. 2.3

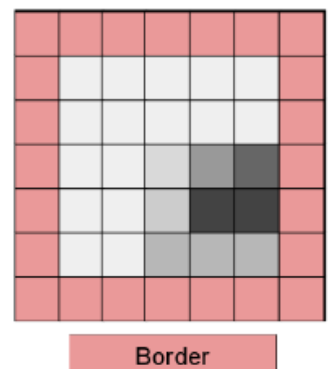
$$\begin{aligned} I_{bt} &= \sum_{i=x_s}^{x_e-1} I(i, y_s) & I_{to} &= \sum_{i=x_s+1}^{x_e} I(i, y_e) \\ I_{le} &= \sum_{j=y_s}^{y_e-1} I(x_s, j) & I_{ri} &= \sum_{j=y_s+1}^{y_e} I(x_e, j) \\ I_{border} &= \frac{I_{bt} + I_{to} + I_{le} + I_{ri}}{4 \cdot (\alpha_{ROI} - 1)} \end{aligned}$$

4. Reste I_{border} de $I(x, y)$ para todos los píxeles no fronterizos, dando una luz normalizada, matriz de intensidad I

$$I(x, y) = I(x, y) - I_{border}$$

Figura 5.1. Píxeles frontera para $\alpha_{roi} = 7$.

El sombreado de la figura indica el negativo de una estrella en la imagen.



5. Calcular la posición del centroide (x_{CM} ; y_{CM}) usando las ecuaciones siguientes. El brillo de B en la ecuación. primera es análogo a la masa total en una matriz de masas puntuales.

$$B = \sum_{i=x_s+1}^{x_e-1} \sum_{j=y_s+1}^{y_e-1} I(i, j)$$

$$x_{CM} = \frac{\sum_{i=x_s+1}^{x_e-1} \sum_{j=y_s+1}^{y_e-1} i \times \bar{I}(i, j)}{B}$$

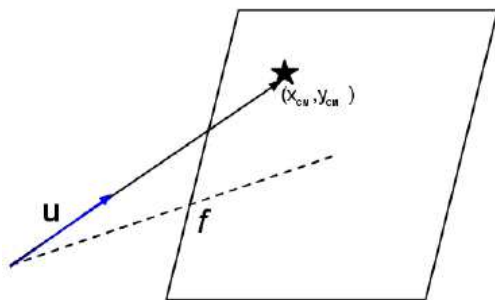
$$y_{CM} = \frac{\sum_{i=x_s+1}^{x_e-1} \sum_{j=y_s+1}^{y_e-1} j \times \bar{I}(i, j)}{B}$$

6. Una vez que la ubicación del centroide (X_{CM} ; Y_{CM}) se ha calculado para cada píxel por encima del umbral, recorrer los lugares centroide y agrupar los valores medidos juntos. Estos valores se suponen que representan la misma estrella, aunque existe la posibilidad de que podría haber dos estrellas en las proximidades. Sin embargo, esta es una suposición razonable si el límite de magnitud de la cámara es lo suficientemente alta.

El proceso de agrupación se puede lograr mediante la comprobación de cada nueva ubicación centroide contra una lista de ubicaciones centroide ya procesada. Si la nueva ubicación está dentro de, por ejemplo, 5 píxeles de una ubicación pre-existente, se realiza el promedio de los dos juntas.

La salida de los este paso es una lista de las coordenadas del centroide promedio, cada uno de los cuales debe representar una fuente de luz independiente.

7. Convertir la lista de ubicaciones centroide promedio en los vectores de la unidad, teniendo en cuenta los parámetros de la cámara: tamaño de píxel μ y distancia focal f . La geometría pertinente se ve en la figura. 5.2



$$\vec{u} = \frac{[\mu \cdot x_{CM}, \mu \cdot y_{CM}, f]^T}{\|[\mu \cdot x_{CM}, \mu \cdot y_{CM}, f]\|}$$

Figure 5.2: Vector unitario de la estrella.

Lo que busca es obtener una lista de vectores columna normalizados con la dirección de cada centroide.

a. Construye el vector con las distancias CCD [distanciaX,distanciaY,distanciaZ]:

*distanciaX es el número de píxeles por el tamaño de píxel.

*distanciaY es el número de píxeles por el tamaño de píxel.

*distanciaZ es la distancia a la que se encuentra el plano de proyección o lo que es lo mismo, la distancia focal.

b. Lo transpone para convertirlo en vector columna.

c. Lo divide por su módulo para normalizarlo.

Ejemplo: La figura 5.3 muestra un ejemplo del algoritmo centroiding utilizado para encontrar el centro de una estrella en una imagen de la cámara.

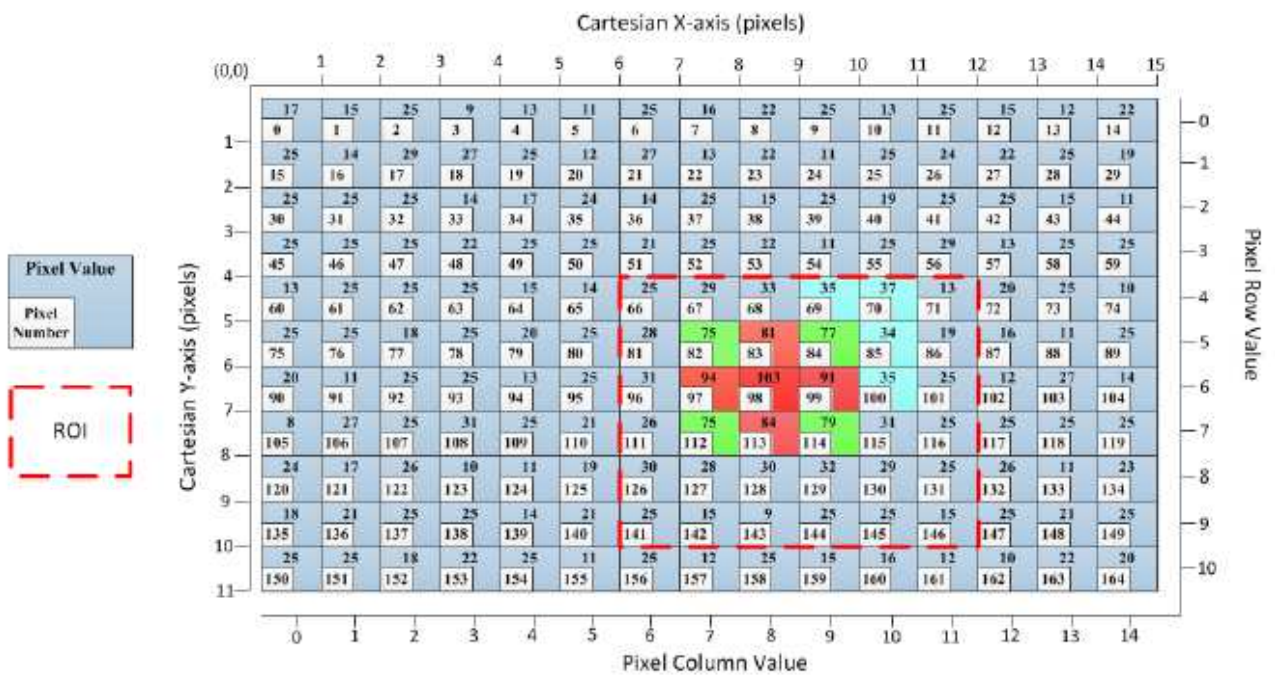


Figura 5.3: Ejemplo de imagen de la cámara con el Código Centroid

Las cajas de cuadrados blancos en la Figura 5.3 representan el número de píxeles, mientras que el número en el centro de cada cuadro representa el valor de píxel. La línea roja punteada representa el retorno de la inversión. Dos sistemas de coordenadas se muestran: el valor de la fila-columna de píxel y el valor cartesiano XY. Es importante tener en cuenta que el código de centroide está escrito

en el lenguaje de programación C. Los valores de píxel de columna comienzan con cero porque la indización de matrices en C comienza con cero.

Revisión de algoritmos de identificación de estrellas

El problema de la identificación de estrellas ha sido bien investigado y numerosos estudios han sido realizado en varios métodos. Todos los métodos tratados aquí utilizar la unidad vectores encuentran desde el paso centroiding en la ecuación:

$$\vec{u} = \frac{[\mu \cdot x_{CM}, \mu \cdot y_{CM}, f]^T}{\|[\mu \cdot x_{CM}, \mu \cdot y_{CM}, f]\|}$$

Además, los algoritmos de identificación de estrellas se pueden vivir en dos tipos:

- perdido en el espacio (LIS) y
- el seguimiento.

Todos estos métodos comparten una secuencia básica en común:

1. Generar una lista de posibles geometrías de un catálogo de estrellas dado.
2. Comparar las estrellas observadas con las geometrías en el catálogo.
3. Evaluar la confianza de las estrellas identificadas y descartar los resultados falsos.

Existen muchas metodologías de resolver estas indicaciones, en el proyecto en cuestión se ha seleccionado el método de votación (Voting method), el cual es analizado a continuación.

VOTING METHOD (MÉTODO DE VOTACIÓN)

El método seleccionado para este rastreador estelar fue el método de votación esbozada por Kolomenkin et al. [16]. Un diagrama de bloques se muestra en la figura. 5.4

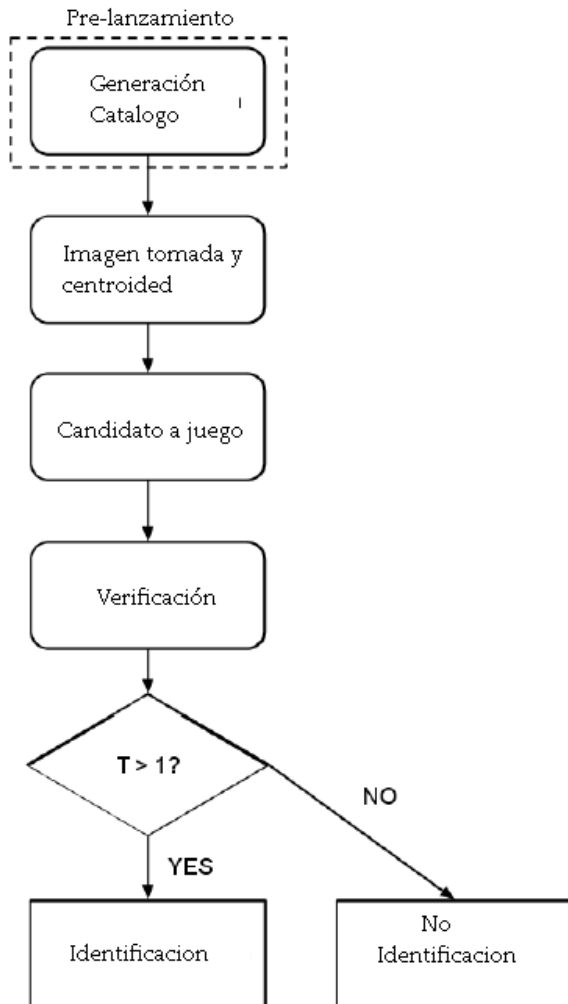


Figura 5.4: Diagrama de bloque de método de votación

Selección y adaptación de los algoritmos apropiados son el meollo de cualquier rastreador de estrellas, sino que debe aplicarse realmente en software y hardware. En este capítulo se aborda el tema anterior, mientras que el capítulo 5 trata el último tema.

Un diagrama de bloques de la funcionalidad del software se muestra en la figura. 3.1.

Antes del lanzamiento, el catinit función se ejecuta para generar la lista de posibles pares de estrellas y sus ángulos interiores. Este archivo se guarda a bordo de la nave espacial. Cuando la función de rastreador de estrellas es llamado por el ordenador de a bordo, catinit se ejecuta de nuevo para cargar el catálogo en la memoria. El loading función toma una fotografía con la cámara de a bordo y salidas de la matriz intensidad de luz resultante.

Esa información se pasa a centroide, que encuentra las fuentes de luz en la imagen y envía sus coordenadas en el plano de la imagen. El uvec función utiliza la geometría de la cámara para

convertir estas coordenadas plano de la imagen en vectores unitarios en el marco de la estrella del perseguidor de coordenadas. Esos vectores unitarios se dan a *starid*, que identifica las estrellas y da salida a sus vectores unitarios, tanto en el rastreador de estrellas y marcos de coordenadas inerciales. Por último, las listas se dan a *attdet*, que encuentra el MCD de la inercia del marco de la estrella del perseguidor de coordenadas y regresa la información a la computadora de a bordo.

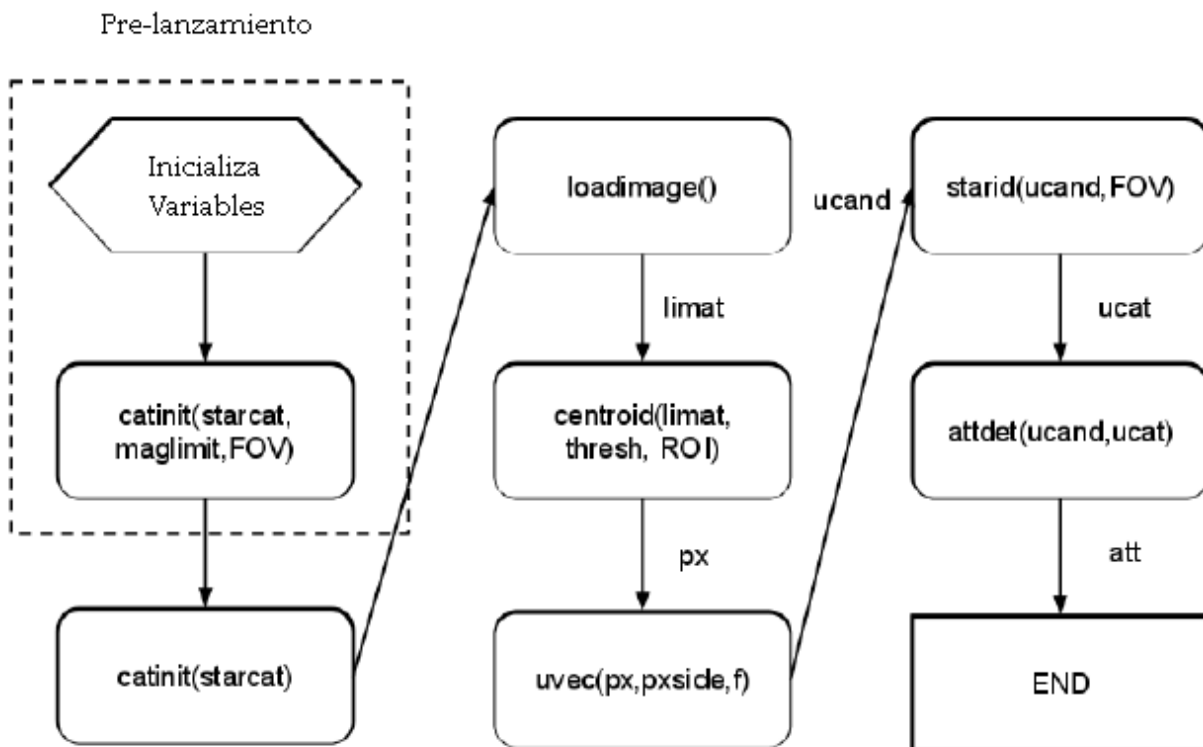


Figura 5.6: Diagrama de flujo de seguimiento de la estrella.

El programa rastreador de estrellas se compone de una serie de funciones que tiene por objeto reflejar más o menos los pasos tres principales rastreador de estrellas se indica en apartados anteriores: centroiding, identificación de estrellas, y determinación de la posición.

En algunos casos, estos pasos se han modificado en función de su lugar en el software o por las limitaciones del lenguaje de programación. Para este trabajo, la programación se realiza en MATLAB, aunque finalmente, estas funciones serán reproducidas en C o C++ para ejecución en tiempo real en el sistema embebido.

El programa rastreador de estrellas se compone de una serie de funciones que tiene por objeto reflejar, más o menos, los pasos de las funcionalidades principales del rastreador de estrellas: centroiding, identificación de estrellas, y determinación de la posición.

En algunos casos, estos pasos se han modificado de lo indicado en las subetapas anteriores, en función de su lugar en el flujo de software o las limitaciones del lenguaje de programación.

Para este trabajo, la programación se realiza en MATLAB, aunque finalmente, estas funciones serán reproducidas en C o C++ para ejecución en tiempo real en el sistema embebido.

Generación Catálogo

La generación de catálogo en el método de votación es muy similar a la del mismo proceso en otras técnicas. Con una intensidad de luz mínima dado que se considera una estrella, y el campo de visión (FOV) de la lente, se genera una lista de posibles pares de estrellas, junto con sus distancias angulares. Este paso se realiza antes de la instalación y el catálogo se almacena en la memoria a bordo de la nave espacial.

$$u = \begin{bmatrix} \cos \alpha \cdot \cos \delta \\ \sin \alpha \cdot \cos \delta \\ \sin \delta \end{bmatrix}$$

Para cada par de estrellas con números de identificación a y b , compruebe que la pareja se reúne las condiciones sobre la magnitud y la distancia angular dada en las ecuaciones siguientes. Tenga en cuenta que el brillo de un objeto, menor es su magnitud.

$$m_a \leq m_{\max}$$

$$m_b \leq m_{\max}$$

$$u_a^T \cdot u_b \geq \cos \theta_{FOV}$$

Si se cumplen las condiciones anteriores, grabar los números de identificación de la estrella, así como el valor del escalar

$$u_a^T \cdot u_b$$

para su posterior utilización.

Tener en cuenta que el valor del producto de ambas matrices,

$$u_a^T \cdot u_b$$

es igual al coseno del ángulo entre los dos vectores unitarios.

Comprobar que este valor es mayor que el coseno del ángulo de campo de visión es equivalente a afirmar que la distancia angular es menor que el ángulo del campo de visión, lo que garantiza que las dos estrellas pueden por tanto ser vistas por la cámara en el mismo tiempo

Candidato a juego

Este paso se inicia el proceso que tiene lugar en cada operación de seguimiento de estrellas.

En este punto, una lista de los vectores unitarios de fuentes de luz observadas está disponible en la cámara-jo marco.

Estos serán a partir de ahora se llamará - estrellas candidatas -, ya que no hay forma de saber si son estrellas reales o falsas estrellas, como los planetas, otros satélites y otras fuentes de ruido en la imagen.

1. Para el par de estrellas candidato i y j , calcular el coseno de la distancia angular entre ellos d_{ij} usando la ecuación.

$$d_{ij} = u_i^T \cdot u_j$$

2. Encontrar todos los pares de estrellas p y q en el catálogo cuya distancia angular d_{pq} satisface la ecuación siguiente con una tolerancia dada ϵ . Tenga en cuenta que el enfoque k-vector [17] descrito anteriormente sería suficiente aquí.

$$d_{ij} - \epsilon \leq d_{pq} \leq d_{ij} + \epsilon$$

3. Para cada par de estrellas posible encontrado en el paso 2, agregue el número de identificación para ambos estrellas p y q a las matrices para estrellas i y j candidatas. Tenga en cuenta que los dos números de identificación se añaden a las dos listas.

4. Una vez que todos los posibles pares de estrellas candidatas han sido procesadas, asignar a cada candidato la estrella catálogo que recibió la mayoría de votos en su conjunto.

En este punto, cada fuente de luz candidato debe tener una probabilidad estrella catálogo asignado.

Sin embargo, todavía no hay forma de saber si cualquiera de estas son falsas estrellas que podrían causar una solución de actitud errónea.

Verificación y resultado final

La etapa de verificación elimina falsas estrellas candidatas. Se lleva a cabo otra ronda de votación, tras lo cual se produce una lista de coincidencias final observadas y estrellas candidatas.

1. Para el par de estrellas candidatas i y j , encuentre el coseno del ángulo entre su catálogo emparejado estrellas r_{ij} usando la ecuación siguiente, donde v_i es el vector unitario de la estrella catálogo adaptado a la estrella candidata i .

$$r_{ij} = v_i^T \cdot v_j$$

2. Si la ecuación siguiente se cumple, añadir un voto a cada una de las listas de estrellas i y j candidatos.

$$d_{ij} - \varepsilon \leq r_{pq} \leq d_{ij} + \varepsilon$$

3. Después de cada par estrella candidato ha sido procesado, encontrar el umbral T de estrellas reales, aplicando la ecuación siguiente.

$$T = \max(\text{votes}(i)) - 1$$

4. Cualquier estrella candidato con más votos que el umbral T se pasa fuera del algoritmo de identificación de estrellas, como una verdadera estrella.

La potencia del método de votación se encuentra en este paso. Verdaderas estrellas tienen un número de votos en este paso agrupados juntos y por encima del umbral T , mientras que las estrellas falsas no recibirán más de uno o dos votos, la eliminación de ellos en este paso.

Suponiendo que al menos tres estrellas han sido positivamente identificados, las dos listas de candidatos emparejados y las estrellas del catálogo se pasan al algoritmo de determinación de actitud.

DETERMINACIÓN DE LA ACTITUD

Una vez que las estrellas candidatas se han igualado a las estrellas del catálogo, existen dos listas de vectores unitarios. Una de ellos es en el marco de la cámara, la otra en el marco de inercia. Para encontrar la rotación entre ellas, y en última instancia, la actitud del satélite, un método de determinación de actitud debe ser aplicado.

Hay varios métodos bien conocidos que devuelven cuaterniones, incluyendo Q-método de Davenport [18] y Quest [19]. Sin embargo, para los fines de este proyecto, se desea una matriz de cosenos directores, por lo que se utiliza el método de descomposición de valor singular desarrollado por Markley [20]. Este método se indica a continuación.

1. Calcular la matriz B usando la ecuación siguiente con la n estrellas observada del algoritmo de identificación de la estrella, donde b_i y r_i para una estrella real son los vectores unitarios de la estrella candidata y catálogo de estrellas, respectivamente.

$$B = \sum_{i=1}^n b_i \cdot r_i^T$$

2. Encontrar la descomposición de valor singular de la matriz B, es decir, las matrices ortogonales U y V y la matriz diagonal de valores singulares S que satisfacen la siguiente ecuación

$$B = U \cdot S \cdot V^T$$

3. Definir las matrices ortogonales apropiados U_+ y V_+ usando las ecuaciones.

$$U_+ = U \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \det U \end{bmatrix}$$

$$V_+ = V \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \det V \end{bmatrix}$$

4. La matriz de cosenos directores A se puede encontrar utilizando la ecuación.

$$A = U_+ \cdot V_+^T$$

6. SISTEMAS DE PRUEBAS del ACS

6.1 INTRODUCCIÓN

El sistema de pruebas utilizado es el representado en la figura 6.1

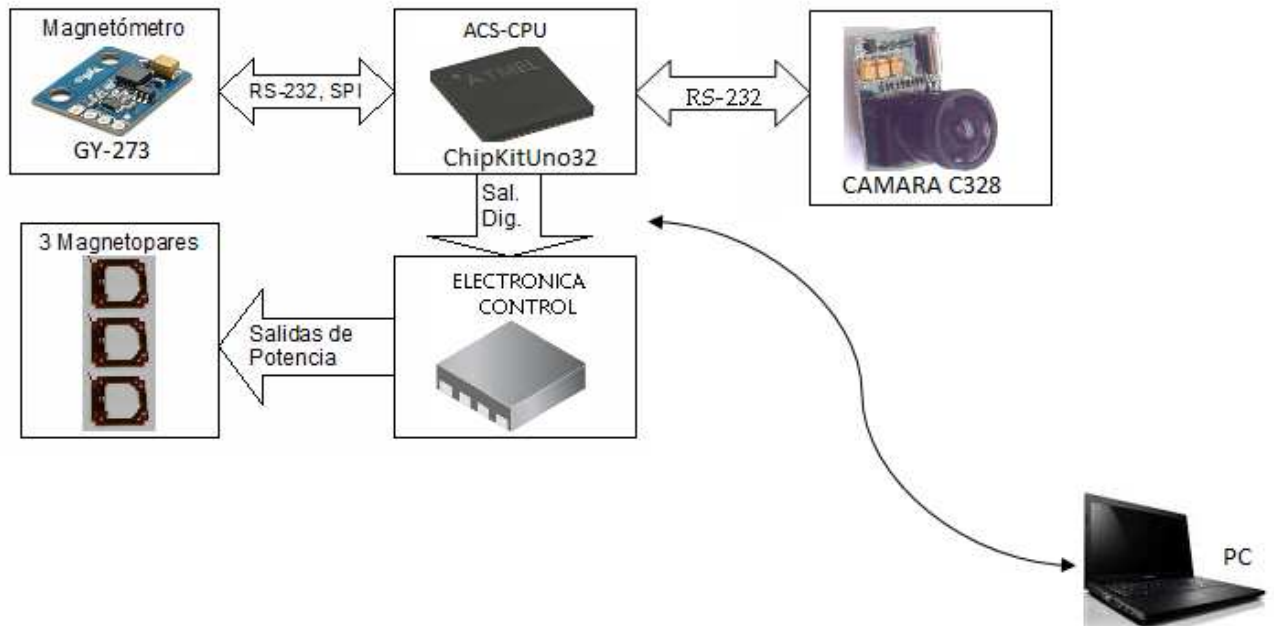


Figura 6.1. Sistema de Pruebas

Dentro del Sistema de pruebas se incluyen los siguientes dispositivos:

- Módulo ChipKitUno32
- Módulo Cámara C238 (Sensor Estelar)
- Magnetopares: Espira Cuadrada y Solenoide
- Magnetómetro GY-273
- PC portátil. Almacenamiento de datos y algoritmia.

Productos electrónicos nuevos se liberan todos los días. El corazón de estos dispositivos electrónicos es típicamente un microcontrolador. A través de los años muchas mejoras en las herramientas necesarias para desarrollar diseños de microcontroladores han sido liberadas. Uno de los módulos de desarrollo más populares es el Arduino que es muy fácil de programar: artistas, diseñadores, aficionados e incluso los ingenieros han creado proyectos muy interesantes que utilizan esta vía de desarrollo. El diseño es de origen abierto.

CONCLUSIONES FINALES

Microchip® Technology Inc. y Digilent® Inc. con el software de ayuda de Mark Sproul y Rick Anderson del FUBAR Hackerspace trabajaron juntos y crearon un módulo compatible Arduino basado llamado chipKIT Microchip PIC®. ChipKIT viene en dos versiones, la más pequeña chipKIT Uno32 y otra mayor chipKIT MAX32. Estos módulos se basan en el microcontrolador Microchip PIC32 y ofrecen muchas más opciones que el módulo típico Arduino. A pesar de estas características adicionales, la plataforma chipKIT está diseñada para trabajar con el mismo lenguaje de programación simplificado utilizado por Arduino y también utiliza el mismo tipo de programación de gestor de arranque a través de una conexión USB. El chipKIT hace que sea fácil para cualquiera, desde principiantes hasta experimentados profesional para desarrollar proyectos y productos de su interés.

ChipKIT utiliza una forma simplificada del lenguaje C basada en el popular módulo Arduino. Este compilador C incluye muchas funciones pre-escritas para que sea más fácil para el principiante que desea utilizarlo. Con esto se logran dos tareas:

- permite a los principiantes iniciarse y
- les enseña los fundamentos del lenguaje C que se utiliza en la industria.

El chipKIT en muchos aspectos fue desarrollado para los artistas o multitudes que no son usuarios de electrónica. Está probado por el hecho de que el software escrito para la chipKIT se llama “**boceto**” (como el dibujo de un artista) en lugar de un programa que es el nombre típico utilizado para el software. La plataforma chipKIT es todo de código abierto por lo que todos los esquemas eléctricos, diseños de placas de circuitos y el software están disponibles para el usuario final.

El chipKIT Uno32 es una placa electrónica basada en el microcontrolador PIC32MX320F128H.. Ambos ofrecen tarjetas de expansión, que incluyen 14 pines digitales de entrada / salida (de los cuales 5 se pueden utilizar como salidas PWM), 6 entradas analógicas, y una alimentación con Reset, 5v, 3.3v, conexiones Vin y tierra. Los módulos chipKIT incluyen una conexión USB, un conector de alimentación, una programación serial en circuito (ICSP) cabeceada, y un botón de reset. Los módulos chipKIT también ofrecen muchas entradas/salidas adicionales (I / O).

Los módulos chipKIT puede ser alimentado por el cable USB o por separado de un adaptador de CA a CC o batería. Para la programación se necesita el software de programación de ChipKit que explicará en pocas palabras.

Los microcontroladores PIC32 funcionan a 3.3v pero muchas de las E / S digitales son 5v tolerante. El PIC32 también funciona 80 MIPS y tiene un total de 42 E / S en el Uno32 y 83 E / S en el MAX32.

6.2 CPU-ACS

Esta unidad está controlada mediante una unidad de control denominada ChipKit Uno32, basada en un PIC de 32 bit, el mismo que el utilizado en ACS-CPU. Esta unidad tiene las siguientes propiedades:

“El chipKIT Max32 combina la compatibilidad con Arduino, el hardware popular de fuente abierta, con el rendimiento del microcontrolador Microchip PIC32. Cuenta con una interfaz de puerto USB de serie para la conexión con el PC y puede ser alimentado a través de USB o una fuente de alimentación externa”.

Características

- Microcontrolador Microchip PIC32MX795F512
- 80 MHz 32 bits MIPS
- 512K Flash, 128K RAM
- Controlador USB 2.0 OTG
- Ethernet 10/100 MAC
- Dos controladores CAN
- Proporciona memoria adicional y periféricos de comunicaciones avanzadas
- Compatible con código de Arduino, materiales de referencia y otros recursos
- Con 83 E/S
- LED de usuario
- Alimentación: 3.3VDC



Figura 6.2. Unidad ChipKitUno32.

Alimentación

El módulo chipKIT puede ser alimentado a través de la conexión USB o con una fuente de alimentación externa. La fuente de alimentación se selecciona automáticamente mediante la captación de circuitos dentro del módulo chipKIT. El módulo tiene un regulador de 5v y un regulador de 3.3V. LA alimentación externa alimenta el regulador de 5v que luego alimenta el regulador de 3.3v. La alimentación externa puede venir de un adaptador de CA a CC (7-15 voltios) con un enchufe de 2.1mm o una batería de 9 voltios con un cable que termina en un enchufe de 2,1 mm. También puede pasar por alto el regulador de 5v y alimentar directamente de 5v con una selección en la placa de circuito.

Otras características pueden observarse en el [Anexo G](#)

Entorno de desarrollo

El chipKIT Uno32 se puede programar con el entorno de desarrollo integrado Multi-plataforma “MPIDE”, el cual esta basado en el IDE original de Arduino. El MPIDE contiene todo lo necesario para empezar el desarrollo de aplicaciones embebidas. Además, es totalmente compatible con el MPLAB ® IDE y programadores / depurador como el PICKit3. (figura 6.3)

```

Blink | Mptide 0023-windows-20111221
File Edit Sketch Tools Help
Run Stop Upload Download
Blink
/*
  Blink
  Turns on an LED on for one second, then off for one second, repea
  This example code is in the public domain.
  */
void setup() {
  // initialize the digital pin as an output.
  // Pin 13 has an LED connected on most Arduino boards:
  pinMode(13, OUTPUT);
}
void loop() {
  digitalWrite(13, HIGH); // set the LED on
  delay(1000); // wait for a second
  digitalWrite(13, LOW); // set the LED off
  delay(1000); // wait for a second
}
1 chipKIT UNO32 on COM1

```

Figura 6.3. Entorno MPIDE

El entorno MPIDE se puede descargar en forma gratuita en el siguiente link:

<https://github.com/chipKIT32/chipKIT32-MAX/downloads>

Otras características pueden observarse en el [Anexo H](#)

6.3 SENSOR ESTELAR

Como sensor estelar se utiliza la cámara fotográfica tipo C328. Esta unidad está formada por una cámara de fotos. La colocación de una cámara de fotos permitirá obtener imágenes de las estrellas. (figura 6.4)

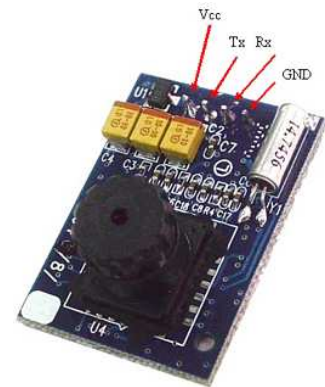


Figura 6.4. Sensor Estelar.

El módulo C328 es una cámara altamente integrada que se puede conectar a un host móvil, y actuar como una cámara de vídeo o una cámara de fotos JPEG comprimido. Proporciona una interfaz serie (RS-232) y el motor de compresión JPEG para actuar como un bajo módulo de la cámara de baja potencia y coste para el sistema de seguridad de bus serial de alta resolución.

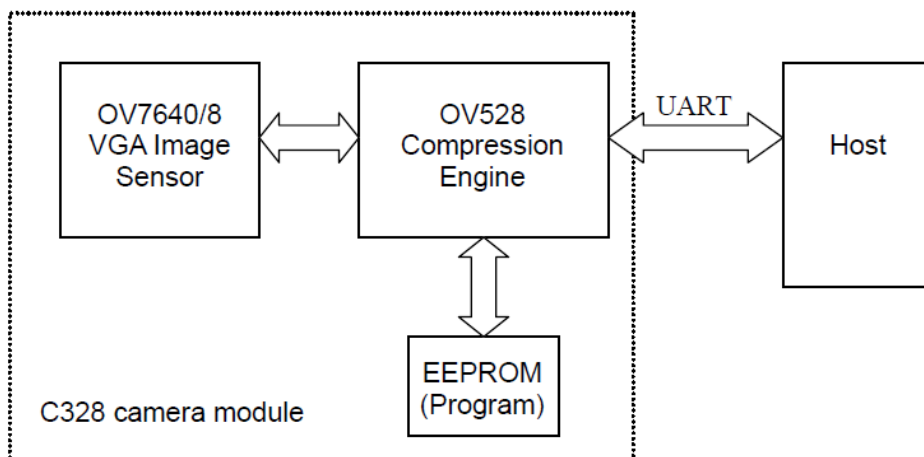


Figura 6.5. Diagrama de bloques de la cámara.

CONCLUSIONES FINALES

La cámara fotográfica se puede controlar mediante ChipkitUno32 enviando comandos a través del interfaz serie que posee. La conexión es la indicada en la figura 6.6.

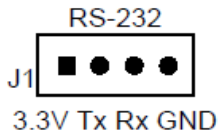


Figura 6.6. Interfaz de la cámara.

La UC deberá poder disparar la cámara en el momento deseado, modificándolo el usuario mediante software. El mecanismo es muy simple de concepto: consiste en hacer lo que harías con las manos (pulsar el disparador) mediante un circuito electrónico y mediante una programación del software.

Otro aspecto a tener en cuenta era la inclusión de un estabilizador de imagen en el momento de hacer la fotografía, para ello se tendrá que elegir una cámara de fotos con ese dispositivo estabilizador y además de la posibilidad de modificar el código software interno de la cámara.

La clave del funcionamiento del sistema está en la programación del microcontrolador del ChipKitUno32 con las secuencias adecuadas para que todo se haga de manera ordenada y en el momento correspondiente. En este caso incluye dos partes:

- Un sistema operativo que gestiona diferentes tareas.
- Una aplicación.

El lenguaje a utilizar será C ó C++.

6.3 MAGNETÓMETRO

Tomando el magnetómetro HMC5883L de Honeywell como línea de base, se realizó el diseño de unidad para medir el campo magnético basada, según se muestra en el esquema del magnetómetro, el cual se representa a continuación. Las dimensiones de dicha unidad son las indicadas en la figura 6.7.

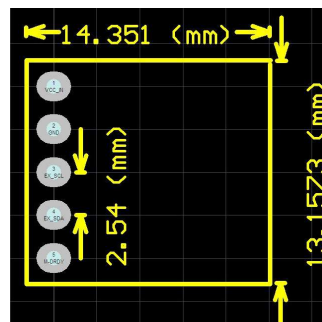


Figura 6.7. Dimensiones PCI magnetómetro.

6.3 MAGNETOPARES

La figura 6.8 y 6.9 muestran los magnetopares desarrollados para el proyecto. El primero de ellos esta basado en una espira cuadrada (figura 6.8), y el segundo en un solenoide con núcleo de ferrita (figura 6.9).



Figura 6.8 Magnetopar de espira cuadrada



Figura 6.9 Magnetopar de solenoide con núcleo de ferrita.

Medidas realizadas para conocer la L presentada han presentado los datos de $L =$

$$L = 383.4 \mu\text{H}$$

$$R = 4.37 \Omega$$

Las medidas se realizaron en corriente alterna a una frecuencia de $f=120$ Hz. El medidor de componentes utilizado es el MZ-505.

CONCLUSIONES FINALES

La figura 6.10 muestra las pruebas realizadas en el Laboratorio.

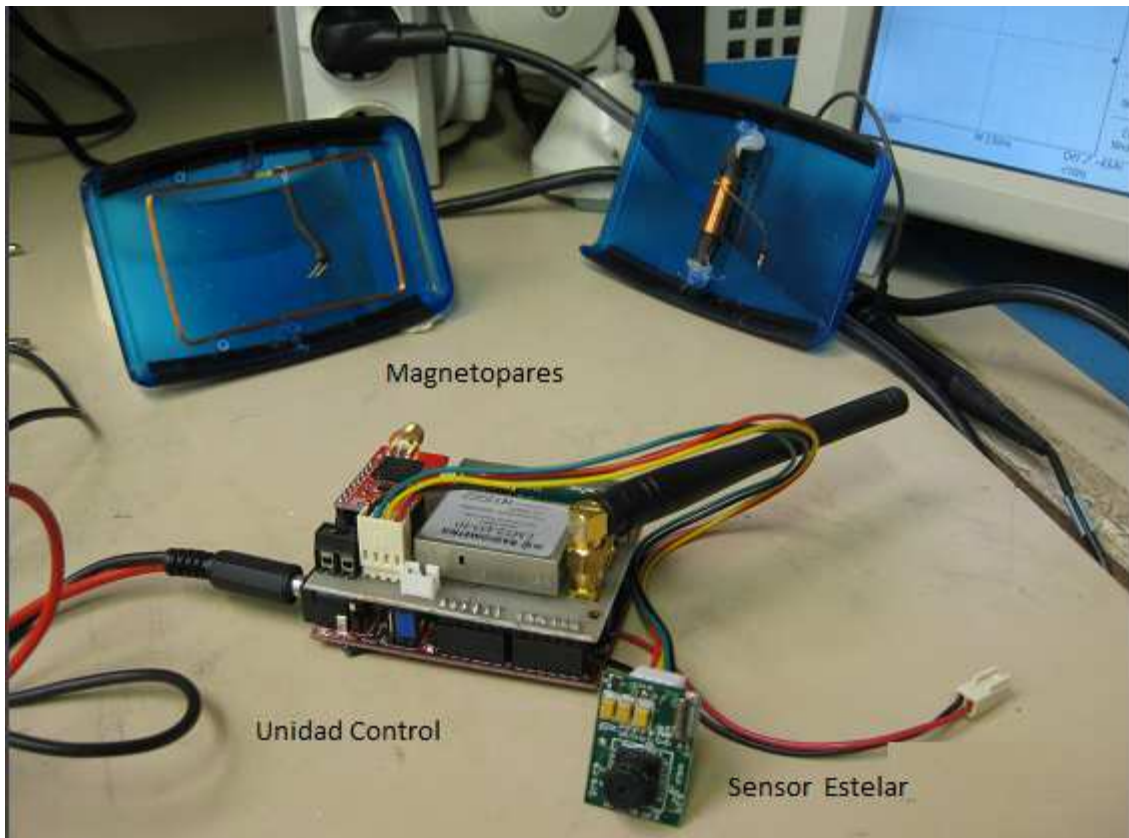


Figura 6.10 Unidad ACS de Cubesat

7. CONCLUSIONES FINALES

CONCLUSIONES FINALES

7.1 PLANIFICACIÓN

Este proyecto comenzó en el año 2012. Sin embargo, debido a un periodo prolongado de inactividad por motivos laborales, alcanzo su desarrollo mas intensivo durante el año 2013.

La planificación y seguimiento del desarrollo se ha apoyado en un diario de progresos, donde se han recogido a la vez los escollos, las lecciones y experiencias adquiridas, y notas sobre los cambios necesarios en el desarrollo inmediato. Cada sesión ha comenzado con un breve periodo de tiempo (entre 10 y 30 minutos) para organizar las actividades programadas y repasar los elementos problemáticos.

En el capítulo 1 ya se expusieron con cierto detalle los objetivos, así como el planteamiento general. En este apartado se va detallar las fases de desarrollo.

Siendo un proyecto que trata del diseño y no implementación del ACS de un Cubesat es evidente que sobre todo se trata de un desarrollo teórico del hardware del ACS. Se trata de diseñar un sensor estelar basado sensores de imagen y de actuadores conformados a base de magnetopares que permitan corregir la actitud del ACS. Así mismo, también se incorpora al diseño un magnetómetro para medir el campo magnético que rodea el satélite.

La mayor labor realizada es la búsqueda de dispositivos electrónicos que permitan dicho desarrollo.

Las actividades que pueden considerarse en el proyecto son las referenciadas a continuación:

1. Recopilación de información. Duracion: 01/10/2013 – 18/10/2013 ó 40 horas

Basada en las especificaciones indicadas “Documents Technical Specifications S / S ACS - HUMSAT Issue 1.0” proporcionada por el director del proyecto. En ella será necesario definir un diagrama de bloques del hardware del ACS, que será necesario para la búsqueda de información.

2. Diseño Hardware del ACS. Duracion: 21/10/2013 – 29/11/2013 ó 150 horas

Esta fase corresponde al diseño de los distintos bloques que constituyen el equipo:

- Sensor estelar
- Magnetómetro
- Magnetopares
- Drivers de los magnetopares
- Microcontrolador

Búsqueda de información general acerca de cada elemento implicado.

CONCLUSIONES FINALES

Evaluación detallada del mercado, filtrado y selección de los componentes necesarios para cada uno de los bloques funcionales.

3. Estudio software base del ACS. Duración: 02/12/2013 – 13/12/2013 ó 60 horas.

Funcionalidad software de la unidad ACS. Estudio del diagrama de bloques del firmware del ACS: temporizadores, PWM, interfaces con sensor de estrellas y magnetopares, etc. adaptado al entorno pseudo C++ de Chipkit.

4. Estudio software de algoritmos. Duración: 16/12/2013 – 21/01/2013 ó 60 horas.

Algoritmos de tratamiento de imágenes tomadas con el sensor de estrellas, basado en un software multiplataforma, escrito en C, y adaptado al entorno pseudo C++ de Chipkit.

5. Diseño de PCB. Duración: 22/01/2013 – 28/01/2013 ó 80 horas

Para poder montar componentes electrónicos en encapsulado superficial (PIC32MX320, A3908, HMC5883L, MAX232, etc) y las conexiones a magnetopares y sensor estelar.

6. Documentación y redacción del proyecto. Desarrollada a lo largo del proyecto. Se estima una duración de unas 150 horas

Búsqueda de información general acerca de cada elemento implicado. Involucra una extensa lista de pequeñas actividades, entre los que destaca: arquitectura PIC24/dsPIC, arquitectura Chipkit, sensores estelares, herramientas de diseño de PCB (Picad), diseño y construcción de magnetopares.

Redacción de esta memoria.

Se resumen las actividades y sus tiempos en la tabla 7.1

Tabla 7.1 Actividades del proyecto

ACTIVIDAD	INICIO	FIN	HORAS
Recopilación de información	01/10/2013	18/10/2013	30
Diseño Hardware del ACS	21/10/2013	31/10/2013	150
Estudio software base del ACS	02/12/2013	13/12/2013	60
Estudio software de algoritmos	16/12/2013	21/01/2013	60
Diseño de PCB	22/01/2013	01/10/2013	80
Documentación y redacción del proyecto	01/10/2013	01/10/2013	100
TOTAL HORAS			480

7.2 COSTE

El coste del proyecto será la suma de dos componentes:

- Componentes de la Unidad Total de 165 €. Se detalla en la tabla 7.2
- Mano de obra utilizada en su diseño. El coste de la hora sería de 30€. Por tanto el coste de la misma será de 1440€.

Tabla 7.2: Coste material

Costes Unidad de ACS	Cantidad	Coste (€)
Unidad Control con alimentación	1	30
Cableado interconexión	3	30
Sensor estelar	1	50
Magnetopares	3	45
Driver Magnetopares	3	6
COSTE TOTAL (€)*		161

() coste aproximado, difícil de precisar por la gran cantidad de elementos de coste despreciable implicados. Incluye cable, conectores, etc.*

Al usarse herramientas gratuitas, no ha sido necesario invertir en licencias de software.

La lista de software empleado en el desarrollo de este proyecto se detalla a continuación:

- **Compiladores:**

GCC (x86 y AVR)

Entorno Chipkit

- **Entornos de desarrollo software:**

ChipKit

Notepad++

HexEditor Neo (edición *free*).

- **Diseño de PCB:**

Kicad

- **Redacción:**

OpenOffice

- **Manipulación de imagen:**

GIMP

- **Cálculo:**

Matlab y Octave

7.3 CONCLUSIONES

Como conclusión general, se logró desarrollar y diseñar el hardware necesario para la unidad de actitud del Cubesat (ACS), siendo éste el objetivo principal del proyecto. Además se realizó el estudio correspondiente de los módulos firmware y software necesarios para su implementación. Las tareas principales han sido la búsqueda de componentes electrónicos necesarios para diseñar los dos componentes principales del hardware: sensor de estrellas y magnetopares.

Se realizó un estudio de los distintos sensores y cámaras existentes en el mercado para la realización del sensor de estrellas. Se seleccionó un sensor del tipo CMOS (mejores prestaciones que los CCD en lo referente al consumo de potencia). Puede verse en el capítulo 2 dicho estudio.

El diseño de los magnetopares se realizó teniendo en cuenta la norma PC104 – bus 8 bit que se utilizara para el Cubesat. Una vez deducidas las dimensiones se procedió a la selección de los materiales del hilo a utilizar, cobre ó aluminio. Se ha seleccionado el material de cobre.

Para el desarrollo del firmware se utilizara un automáta de estados y los módulos indicados en el capítulo 3. Este software base se realizará de forma modular y está basado en el entorno Chipkit.

Se ha realizado el estudio de la algoritmia a utilizar por el sensor de estrellas, desarrollando un software escrito en Matlab y que se expone en el Anexo L.

7.4 ESTADO ACTUAL Y MEJORAS PROPUESTAS

Como sucede con la inmensa mayoría de proyectos, este se entrega con multitud de mejoras posibles, algunas pocas de las cuales son casi inmediatas, otras requerirían alrededor de un mes, y algunas son suficientemente ambiciosas como para exigir un planteamiento mas serio.

Sin embargo, y a pesar de ello, este proyecto se entrega acabado y en una fase estable, con un hardware documentado y bien estructurado.

Para acabar, y por orden orientativo de dificultad, se expone una lista de mejoras propuestas.

- Pruebas del sistema basadas en ChiKitUno32. Una vez superadas las pruebas se procedería como una nueva fase al desarrollo del hardware definitivo.
- Realización y pruebas del firmware basado en el entorno ChipKit.
- Realización de la algoritmia basada en el entorno Matlab. Posteriormente se pasará a C++ desde el mismo Matlab.
- Pruebas de Funcionamiento.

CONCLUSIONES FINALES

- Industrialización de la unidad. Construcción de una unidad ACS
- Adaptación para Atmega.

7.5 CÓDIGO FUENTE Y RECURSOS

Junto a este trabajo se adjunta un CD-ROM con el código fuente desarrollado, así como los diseños de PCB, esquemáticos, y los catálogos usados.

CONCLUSIONES FINALES

8. BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

- [1] David Nash, Catalogo Estelar HYG, <http://www.astronexus.com/node/34>
- [2] David Senabre, GOTO - Monturas EQ3/EQ5,
<http://www.consolasparasiempre.net/proyectos/yaagto/yaagto.htm>
- [3] Angel Caparros, PicGoto, <https://sites.google.com/site/picgoto/>
- [4] Texas Instruments Incorporated, Quadruple half-h drivers, L293, 2002
- [5] Atmel Corporation, 8-bit Atmel Microcontroller with 64K/128K/256K Bytes In- System Programmable Flash, ATmega 1280, 2012
- [6] Allegro MicroSystems Inc., Microstepping driver with translator, A3967, 2003
- [7] Shankar Balasubramaniam, Advanced High-Speed CMOS (AHC) Logic Family, Texas Instruments, 2002
- [8] National Semiconductor Corporation, LM117/LM317A/LM317, 3-Terminal Adjustable Regulator, 2011
- [9] Fairchild Semiconductor Corporation, 1N4001 - 1N4007, General Purpose Rectifiers, 2001
- [10] Microchip Technology Inc., DS21826B, MCP1700, 2007
- [11] SanDisk Corporation, Secure Digital Card (Product Manual), pag 3-17, 2003
- [12] SanDisk Corporation, Secure Digital Card (Product Manual), pag 2-2, 2003
- [13] Microchip Technology Inc., DS70291B, High-Performance, 16-bit Digital Signal Controllers, 2008
- [14] C. Liebe, _Accuracy performance of star tracker - a tutorial,_ IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, vol. 38, no. 2, pp. 587_599, April 2002.
- [15] M. Kolomenkin, S. Pollak, I. Shimshoni, and M. Lindenbaum, _Geometric voting algorithm for star tracker,_ IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems,
- [16] Proyecto Humsat (<http://humsat-uah.org/>)
- [17] *Attitude dynamics and control*. s.l. : Wikipedia.
- [18] Wertz, James R. *Spacecraft Attitude Determination and Control*. s.l. : D. Reidel, 1978.
- [19] Sferco, Juan Esteban. *Determinación de orientación satelital en base a imágenes estelares*. 1999.
- [20] R.Taylor, John. *Error analysis*. 1997.
- [21] D. Litwiler, "CMOS vs. CCD: Maturing Technologies, Maturing Markets." *Photonics Spectra*. Laurin Publishing. DALSA Technology with vision. 2005.
http://www.dalsa.com/shared/content/pdfs/CCD_vs_CMOS_Litwiler_2005.pdf

[22] L. Brissot, J. Chautemps, "Sensores de imagen CMOS y CCD Comparación".

Mundo Electrónico. Febrero (361): 30-34. 2005

[22] Dave Litwiller, "CCD vs. CMOS: Facts and Fiction." *Photonics Spectra*. Laurin Publishing. DALSA Technology with vision. 2001

[http://www.dalsa.com/shared/content/Photonics Spectra CCDvsCMOS Litwiller.pdf](http://www.dalsa.com/shared/content/Photonics_Spectra_CCDvsCMOS_Litwiller.pdf)

[23] Kodak, *Device Performance Specification Kodak KAC-9618 CMOS IMAGE*

SENSOR. KODAK. Setiembre 2004. Revisión 2.0 <http://www.kodak.com/go/imagers>

[24] Cypress Perform, *CY7C1061AV33 16Mbit (1M x 16) Static RAM*. Cypress

Semiconductor Corporation. San José, CA. 26 Marzo 2007. <http://www.cypress.com>

[18] G. Lerner, *Three-Axis Attitude Determination*, J. Wertz, Ed. D. Reidel Publishing Co.: D. Reidel Publishing Co., 1978.

[19] M. Shuster and S. Oh, "Attitude determination from vector observations," *Journal of Guidance and Control*, vol. 4, no. 1, pp. 70-77, Jan-Feb 1981.

[20] F. Markley, "Attitude determination using vector observations and the singular value decomposition," *J. Astronaut. Sci.*, vol. 38, no. 3, pp. 245-258, 1988.

9. ANEXOS

A. SISTEMAS DE COORDENADAS

Existen distintos sistemas de coordenadas que son utilizados para expresar la orientación y efectuar el control de un satélite. Estos pueden tomar en cuenta a la Tierra, la órbita y al propio cuerpo del satélite.

Sistema coordenado inercial con centro en la Tierra, S_I

Sistema con origen en el centro de la Tierra que cuenta con tres ejes, en el cual uno apunta con dirección al Equinoccio Vernal, el segundo apunta al norte de la Tierra y el último eje es ortogonal a los otros dos cumpliendo la regla de la mano derecha, siendo llamados x_i, z_i, y_i respectivamente, ver

Figura A.1.

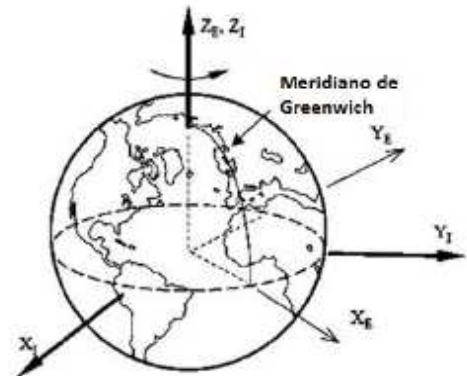


Figura A.1. Sistemas coordenados inerciales con centro en la Tierra

Sistema coordenado fijo a la Tierra con centro en la Tierra, S_E

Sistema con origen en el centro de la Tierra, al igual que en el sistema S_I , donde sus ejes apuntan hacia diferentes lugares del espacio. El eje llamado x_e apunta hacia la intersección del Meridiano de Greenwich con el Ecuador, el eje y_e apunta hacia el polo norte y, finalmente el eje z_e es ortogonal a ambos ejes y cumple la regla de la mano derecha (Ver Figura A.1). Este sistema presenta una rotación relativa al Sistema S_I con una velocidad de $w_E = 7.2921 \times 10^{-5} \text{ m/s}$. Esta es la velocidad de rotación de la Tierra sobre su propio eje.

Sistema coordenado orbital con centro en la Tierra, S_{OE}

Describe la órbita del satélite, donde x_{OE} apunta al perigeo, y_{OE} apunta al eje semimenor y z_{OE} es perpendicular al plano de la órbita. Existe una velocidad angular ω , que posee el satélite al recorrer su órbita en términos del sistema coordenado S_{OE} relativo al sistema inercial S_I .

Sistema coordenado orbital S_O

Tiene como origen el centro de masa del satélite, donde z_0 apunta hacia la Tierra y es paralelo a la línea que va desde el centro de la Tierra hacia el nodo ascendente de la órbita del satélite, cuando se pasa el plano ecuatorial, x_0 es tangencial a la órbita y va en la dirección en la que viaja el satélite y y_0 completa la regla de la mano derecha. La Figura A.2 muestra al mismo objeto en dos puntos distintos de la órbita dando importancia a los ejes z_0 y x_0 . Para el caso particular de este trabajo es necesario decir que este

sistema de referencia se considerará como inercial y por ello pueden tomarse en cuenta perturbaciones a las que está expuesto el satélite.

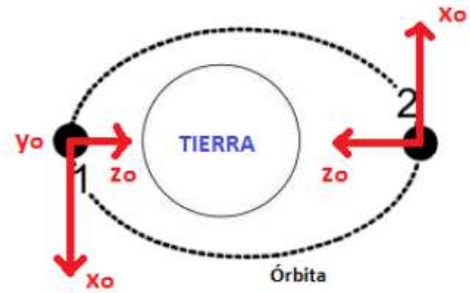


Figura A.2. Sistema coordenado orbital, donde eje y_0 apunta hacia afuera de la página.

Sistema coordenado fijo al cuerpo del satélite, S_B

Su origen está en el centro de masa de la nave, y está fijo al cuerpo del satélite provocando que se mueva y rote con el mismo. Posee tres ejes que idealmente coinciden con los ejes de inercia del satélite.

El objetivo del control de orientación es que el sistema S_B coincida con el sistema S_0 , aquellos ejes que se desea que coincidan con los ejes x_0 , y_0 y z_0 son llamados x_B , y_B y z_B , respectivamente. En la Figura A.3 es posible apreciar las rotaciones entre los ejes de los sistemas S_0 y S_B .

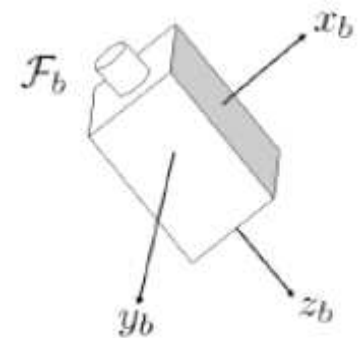


Figura A.3 Sistema coordenado centrado en el cuerpo del satélite, S_B

Las rotaciones alrededor de los ejes x_0 , y_0 y z_0 se conocen como ángulos de rotación o cabeceo, alabeo y guiñada (Roll, Pitch y Yaw) y son representados por los ángulos q , f y y , respectivamente. A los ejes x_B , y_B y z_B se les conoce también como eje de cabeceo, eje de alabeo y eje de guiñada, respectivamente.

Sistema de coordenadas convencional inercial

En primer lugar, definiremos los ejes cartesianos en el sistema de referencia inercial de las estrellas. El sistema de coordenadas convencional inercial (Convencional Inertial System o CIS [6]) tiene como origen al centro de masa de la tierra. En el sentido estricto, el sistema CIS no es un sistema inercial porque el centro de masas de la Tierra sufre pequeñas aceleraciones cuando nuestro planeta se mueve alrededor del sol, razón por la cual a menudo es llamado cuasi-inercial. Para comprender la ubicación de los ejes x , y , z , consideramos las siguientes características del sistema:

- El plano $x - y$ es el plano del ecuador.
- El eje x tiene la dirección de la recta que se genera en la intersección entre el plano del ecuador y el plano del sistema solar (los planos forman un ángulo de $\sim 23^\circ$).

- El eje z , perpendicular a x e y , es el eje de rotación de la tierra y tiene el sentido tal, que forma una terna derecha.

Sistema de coordenadas ecuatorial

Para indicar actitud en el sistema inercial de coordenadas se utiliza ampliamente el sistema de coordenadas ecuatorial. En vez de definir una dirección mediante un vector en un sistema rectangular cartesiano, utiliza dos ángulos para ubicar a un punto en la esfera celeste, y un tercero para indicar rotación, como lo indica la figura A.4.

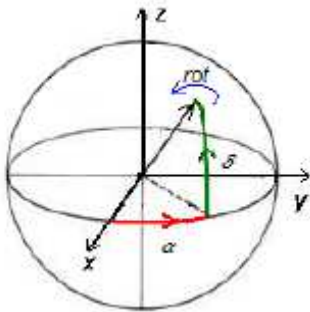


Figura A.4 Sistema de coordenadas ecuatorial

Las coordenadas son:

- **Ascensión recta (AR ó α):** Ángulo entre el eje x y la proyección del vector sobre el plano x - y . Varía entre 0° y 360° .
- **Declinación (δ):** Ángulo entre el vector y el plano $x - y$. Varía entre -90° y 90° .
- **Rotación (rot):** El último ángulo indica la rotación en el eje del vector.

Las coordenadas de un vector expresadas en ascensión recta y declinación son datos útiles a la hora de ser interpretados por una persona, ya que tienen un sentido geométrico claro. No resulta ser un sistema muy adaptado a los cálculos, ya que se precisan muchas funciones trigonométricas.

B. CARACTERÍSTICAS PIC32MX3XX/4XX



PIC32MX3XX/4XX

High-Performance 80 MHz MIPS-Based 32-bit Flash Microcontroller 64/100-Pin General Purpose and USB

High-Performance 32-bit RISC CPU:

- MIPS32[®] M4K™ 32-bit Core with 5-Stage Pipeline
- 80 MHz Maximum Frequency
- 1.56 DMIPS/MHz (Dhrystone 2.1) Performance at 0 Wait State Flash Access
- Single-Cycle Multiply and High-Performance Divide Unit
- MIPS16e™ Mode for Up to 40% Smaller Code Size
- User and Kernel Modes to Enable Robust Embedded System
- Two Sets of 32 Core Register Files (32-bit) to Reduce Interrupt Latency
- Prefetch Cache Module to Speed Execution from Flash

Microcontroller Features:

- Operating Voltage Range of 2.3V to 3.6V
- 32K to 512K Flash Memory (plus an additional 12KB of Boot Flash)
- 8K to 32K SRAM Memory
- Pin-Compatible with Most PIC24/dsPIC[®] Devices
- Multiple Power Management Modes
- Multiple Interrupt Vectors with Individually Programmable Priority
- Fail-Safe Clock Monitor Mode
- Configurable Watchdog Timer with On-Chip Low-Power RC Oscillator for Reliable Operation

Peripheral Features:

- Atomic SET, CLEAR and INVERT Operation on Select Peripheral Registers
- Up to 4-Channel Hardware DMA Controller with Automatic Data Size Detection
- USB 2.0 Compliant Full Speed Device and On-The-Go (OTG) Controller
- USB has a Dedicated DMA Channel
- 10 MHz to 40 MHz Crystal Oscillator
- Internal 8 MHz and 32 kHz Oscillators

- Separate PLLs for CPU and USB Clocks
- Two I²C™ Modules
- Two UART Modules with:
 - RS-232, RS-485 and LIN 1.2 support
 - IrDA[®] with On-Chip Hardware Encoder and Decoder
- Parallel Master and Slave Port (PMP/PSP) with 8-bit and 16-bit Data and Up to 16 Address Lines
- Hardware Real-Time Clock/Calendar (RTCC)
- Five 16-bit Timers/Counters (two 16-bit pairs combine to create two 32-bit timers)
- Five Capture Inputs
- Five Compare/PWM Outputs
- Five External Interrupt Pins
- High-Speed I/O Pins Capable of Toggling at Up to 80 MHz
- High-Current Sink/Source (18 mA/18 mA) on All I/O Pins
- Configurable Open-Drain Output on Digital I/O Pins

Debug Features:

- Two Programming and Debugging Interfaces:
 - 2-Wire Interface with Unintrusive Access and Real-time Data Exchange with Application
 - 4-wire MIPS Standard Enhanced JTAG interface
- Unintrusive Hardware-Based Instruction Trace
- IEEE Std 1149.2 Compatible (JTAG) Boundary Scan

Analog Features:

- Up to 16-Channel 10-bit Analog-to-Digital Converter:
 - 500 ksp/s Conversion Rate
 - Conversion Available During Sleep, Idle
- Two Analog Comparators
- 5.5V Tolerant Input Pins (digital pins only)

Bus Masters y Acceso Concurrente

Los *Bus Masters* son un conjunto especial de módulos que pueden iniciar una lectura o escritura de otro módulo (o *Target*). Por ejemplo el CPU puede leer y escribir en la SRAM o en cualquier otro periférico. De manera similar, el DMA puede leer y escribir en cualquier otro periférico del bus. Los PIC32 siguen evolucionando pero hasta la fecha los *Bus Masters* son CPU, ICD, USB, DMA, Ethernet y CAN.

El *Bus Matrix* permite funcionamiento concurrente de *Bus Masters*, por ejemplo si un *Bus Master* inicia una transacción con un módulo, otro *Bus Master* puede iniciar una segunda transacción con otro módulo aun cuando no haya terminado el *Bus Master* anterior.

La Figura B-1 muestra un ejemplo de 3 transacciones concurrentes. Mientras el CPU esta tomando instrucciones del módulo *Prefetch Cache*, el USB esta leyendo o escribiendo en la SRAM, y al mismo tiempo el módulo DMA puede leer del módulo UART. En este ejemplo, las transacciones usan caminos separados y no se generan conflictos ni retrasos.

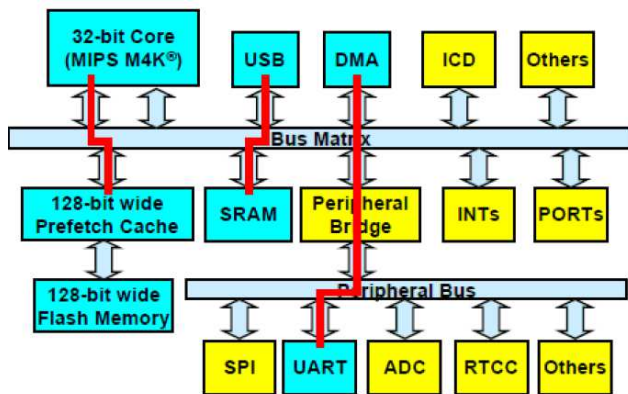


Figura B.1. Acceso concurrente

Núcleo MIPS M4K

Toda la familia PIC32 posee como corazón un procesador MIPS M4K de 32 bits capaz de funcionar a una frecuencia máxima de 80 MHz y proporcionando un rendimiento cercano a 1 instrucción por cada ciclo de reloj. A diferencia de las familias anteriores de PICs como PIC24, PIC18, PIC16, etc. El rendimiento del PIC32 no se puede medir simplemente con la velocidad del oscilador, ya que debido a la compleja arquitectura interna de su núcleo y a los módulos que ayudan a mejorar el rendimiento (Prefetch cache, cache, DMA), la duración de cada instrucción varía por diversos factores como son, la aplicación, el compilador, la estructura del código, etc.

Sin embargo con todos los módulos de rendimiento activados y con una optimización de código, el PIC32 puede llegar a funcionar a 80 MIPS (Millones de Instrucciones por Segundo) con un reloj de 80 MHz. A continuación se listan las características principales del procesador MIPS M4K que poseen los PIC32 :

- Hasta 1.5DMIPS/MHz de rendimiento.
- Memoria caché programable para mejorar la ejecución desde memoria Flash.
- Modo de instrucciones de 16-bit (MIPS16e) para generar código más compacto.
- Controlador de interrupciones sectorizado con 63 niveles de prioridad.
- Modos de operación de Usuario y Kernel (para optimizar el uso de sistema operativo).
- Manipulaciones de bit atómicas (en un solo ciclo) en registros de periféricos.
- Unidad de multiplicación y división capaz de multiplicar 32 x 16 bits en un ciclo de reloj.
- Soporte para depuradores y programadores por JTAG e ICD.
- Modos de alimentación programables para reducir el consumo de potencia.
- Pipeline de 5 niveles.
- Protección de código interna para proveer propiedad intelectual.

← [Volver](#)

C. SENSOR CMOS KAC9618 - KODAC

El diagrama de bloques se representa en la figura C-1.

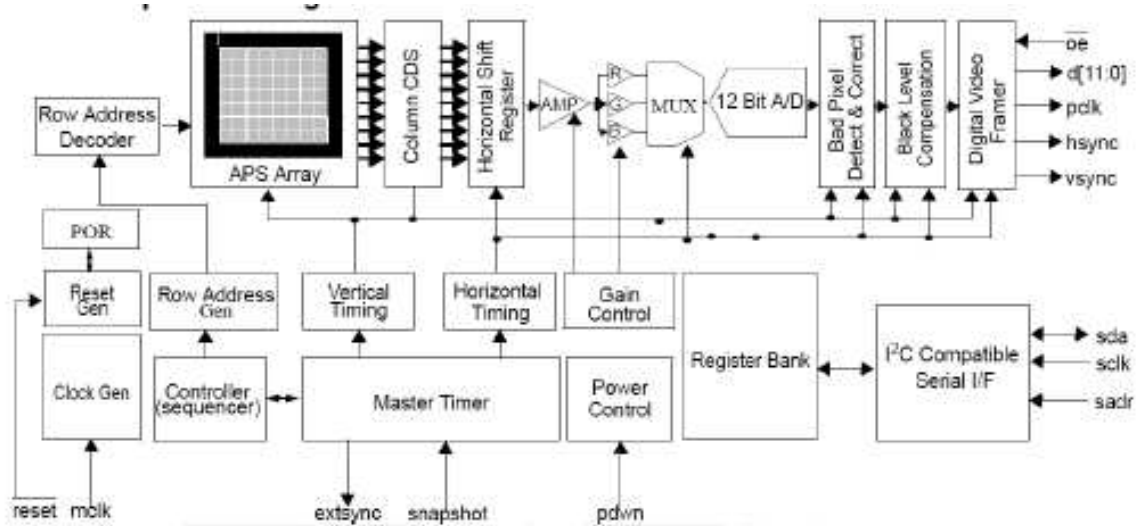


Figura C.1. Diagrama de bloques del sensor Kodak KAC-9618
 Fuente: Kodak KAC-9618 CMOS Image – <http://www.kodak.com>

Se programa vía bus I2C a través de los pines sda, sclk y sadr. El pin sadr permite enviar la información a programar, la dirección y los valores de la opción a seleccionar; es por eso que está en constante contacto con el Register Bank (banco de registros). El bloque del Master Timer permite la opción de controlar cuando se quiere tomar una imagen. Este bloque está relacionado con Vertical & Horizontal Timing que a su vez interacciona con el APS Array donde se encuentra el área que recibe la imagen y con los otros bloques donde se amplifica, convierte de analógico a digital, detección y corrección de píxeles negros y luego lo muestra a la salida. Se puede tener un reloj externo o usar el interno para la frecuencia de muestreo de las imágenes. El APS Array tiene un arreglo de 488 filas x 648 columnas.

Para programar se tiene los pines sda (serial data), sclk (serial clock) y sadr (device address select). La escritura y lectura de los datos se realizan de la forma indicada en las figura C.2.a y figura C.2b, en el puerto sda :



Figura C.2a. Operación de escritura en el bus
 Fuente: Kodak KAC-9618 CMOS Image – <http://www.kodak.com>



Figura C.2b. Operación de lectura en el bus

Fuente: Kodak KAC-9618 CMOS Image – <http://www.kodak.com>

En ambas figuras las letras “S” y “P” son la condición de inicio y parada de cada formato. Para la escritura en alguna dirección se empieza por mandar la condición de inicio “S” que se realiza con un flanco de bajada en el pin sda mientras sclk está en 1, luego se envía Device Address (“1010101” cuando sadr está en 0 “0110011” cuando sadr está en 1) y W debe ser 0 para escritura. Luego espera la señal “A” que es la respuesta del sensor que ha recibido correctamente, luego se envía la dirección del registro a programar, se espera nuevamente la señal “A” para así enviar la trama de bits para la configuración, se espera por última vez la señal “A” y recién mandamos el comando de condición de parada “P”.

De manera parecida sucede con la operación de lectura, sólo que se vuelve a enviar la señal de condición de inicio “S” y el “Device Address” y el bit de lectura “R” para que el sensor envíe la señal “A” y los bits del registro a leerse, por último se le debe responde con la señal negada de “A” y la condición de parada “P”.

Obturador LCD

El cristal LCD tiene la característica de permanecer opaco mientras se mantenga en reposo. Esto es adecuado para la misión ya que, por norma, la cámara no estará realizando fotografías, sino que permanecerá apagada. Sería un derroche de energía el mantener constantemente el obturador alimentado para que este estuviera opaco y protegiera la cámara.

Es cuando se le hace circular una señal específica, se tornará transparente y permitirá la correcta adquisición de las fotografías.

← [Volver](#)

D. MEMORIA SRAM

La figura D.1 representa el encapsulado de la memoria SRAM utilizada.



Figura D.1. SRAM CY7C1061
Fuente: www.digikey.com

En la tabla D.1 se muestra la tabla de verdad con todos los pines de control mencionados (CE1, CE2, WE, OE, BLE, BHE).

Tabla D.1 Tabla de verdad con los pines de control

/CE1	/CE2	/OE	/WE	/BLE	/BHE	IO0-IO7	IO8-IO15	MODO
H	X	X	X	X	X	HIGH-Z	HIGH-Z	STANDBY
X	L	X	X	X	X	HIGH-Z	HIGH-Z	STANDBY
L	H	L	H	L	L	DATA OUT	DATA OUT	READ TODOS BITS
L	H	L	H	L	H	DATA OUT	HIGH-Z	READ IO0-IO7 BITS
L	H	L	H	H	L	HIGH-Z	DATA OUT	READ IO8-IO15 BITS
L	H	X	L	L	L	DATA IN	DATA IN	WRITE TODOS BITS
L	H	X	L	L	H	DATA IN	HIGH-Z	WRITE IO0-IO7 BITS
L	H	X	L	H	L	HIGH-Z	DATA IN	WRITE IO8-IO15 BITS
L	H	H	H	X	X	HIGH-Z	HIGH-Z	SELECCIONADA, SALIDAS DESHABILITADAS

← [Volver](#)

E. CAPTURA Y OPTIMIZACIÓN DE IMAGEN

Captura de Imagen

La grabadora de imágenes es una parte fundamental para el éxito de la misión de la nave espacial. El grabador de imágenes tendrá que ser preciso en la captura de la foto de modo que la resolución se encuentre con los requisitos necesarios además de asegurarse de que no hay ninguna falta de definición de la velocidad de la astronave.

Para la óptica, uno de los factores principales es la resolución de la fotografía. La propuesta inicial indica que la fotografía debe tener al menos una resolución de "x" metros (ej. 3m). Por lo tanto, con una cámara digital, con un dispositivo acoplado de carga (CCD), un píxel tendrá que ser capaz de capturar un objeto que tiene "x" m de longitud y anchura. Para obtener una imagen clara, deberemos ser capaces de distinguir un objeto de "x" m de la de un objeto más pequeño.

Con el fin de determinar el tamaño del CCD que se necesita, el tamaño del área de fotografía también se deberá tener en cuenta. Se fija como objetivo que la fotografía tenga un área de "y x y Km" (p.e., 5 km x 5 km). Usando el tamaño del área de fotografía y el tamaño de resolución, la siguiente ecuación se utiliza para determinar la cantidad de píxeles necesarios para el CCD

$$N_{\text{pixel}} = \frac{\text{longitud_imagen}}{\text{resolución}} \text{ pixels}$$

Ejemplo:

Para el ejemplo indicado: 3 m de resolución y 5 x 5 Km de área:

$$N_{\text{pixel}} = \frac{\text{longitud_imagen}}{\text{resolución}} = \frac{5000}{3} = 1667 \text{ pixels}$$

Podemos seleccionar una cámara de 1818 pixels.

Esta ecuación da el número de píxeles de un lado del CCD, para un CCD que toma fotografías en blanco y negro. Para capturar una imagen en color tendría que ser triplicado este número para permitir la píxeles de colores, dado que tenemos 3 colores: rojo, verde y azul

$$N_{\text{pixel}} = 3 \cdot 1818 = 5454 \text{ pixels}$$

Debido a las limitaciones dimensionales necesitamos una distancia focal pequeña con el fin de ser capaz de ver los “y por y, km de área”. La distancia focal puede tomar el valor de 1.2 a 1.3 metros.

Tamaño del pixel.

Usando la siguiente expresión matemática se puede determinar el tamaño del pixel del CCD.

$$d = f * \varphi$$

Donde:

d: tamaño de la imagen,

f: longitud focal,

α : ángulo subtendido por el objeto (3m),

Optimización de la Imagen

Con el fin de determinar el tiempo de obturación necesaria para capturar la imagen, es necesario determinar la cantidad de luz visible a alcanzar el CCD. Las siguientes ecuaciones se usan para calcular la intensidad de la luz en el CCD.

La irradiación de la tierra por el sol en el espectro visible es:

$$I_{vis} \cong 0.4 \cdot I_{sun} = 400 \frac{W}{m^2}$$

Ya que únicamente el 40% de la emisión solar es luz visible.

La intensidad en el CCD es:

$$I_{CCD} = \frac{I_{vis} \cdot \rho \cdot \cos(\theta) \cdot \cos^2(\alpha)}{\pi \cdot f^2} \cdot A_{lens}$$

Donde: θ es el ángulo de la,

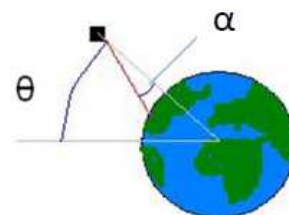
α es el ángulo que la nave espacial está tomando la imagen al (visto en Figura E.1),

ρ es el albedo de la Tierra y

f es la longitud focal de la camara

Figura E.1. Intensidad de la luz en el espacio

Esta ecuación puede ser simplificada a



$$I_{CCD} = \frac{I_{vis} \cdot \rho \cdot A_{lens}}{\pi \cdot f^2} \cdot b$$

El tiempo para la saturación de los píxeles de la CCD se puede calcular como el número de electrones en saturación sobre la tasa de generación de electrones

$$t_{sat} = \frac{N_e^{sat}}{N_e} = \frac{25000}{6.5 \cdot 10^6 \cdot b} = \frac{0.004}{b} \text{ sec.}$$

El tiempo mínimo que el obturador debe ser abierto se encuentra tomando el número mínimo de electrones necesarios para superar el ruido sobre la tasa de generación de electrones

$$t_{sat} = \frac{N_e^{min}}{N_e} = \frac{500}{6.5 \cdot 10^6 \cdot b} = \frac{0.0005}{b} \text{ sec.}$$

Usando las ecuaciones anteriores y sabiendo que el ángulo desde el cual la nave espacial toma la foto será de 45° y el ángulo de la nave espacial fuera de la línea ecuatorial será de 60° , se determina que el tiempo mínimo para el obturador se encuentre abierto será de 0.002 segundos.

Utilizando los mismos valores, el tiempo de saturación del obturador se encontró que era 0,015 segundos.

El CCD utiliza su propio obturador electrónico y los controles de este tendrán que ser calibrada para ajustarse dentro de esta ventana de tiempo. Tendrá trabajo que hacer para calcular la velocidad de rotación del satélite para que la pista de tierra no obstaculice la resolución de la fotografía.

F. DRIVER MAGNETOPARES A3908

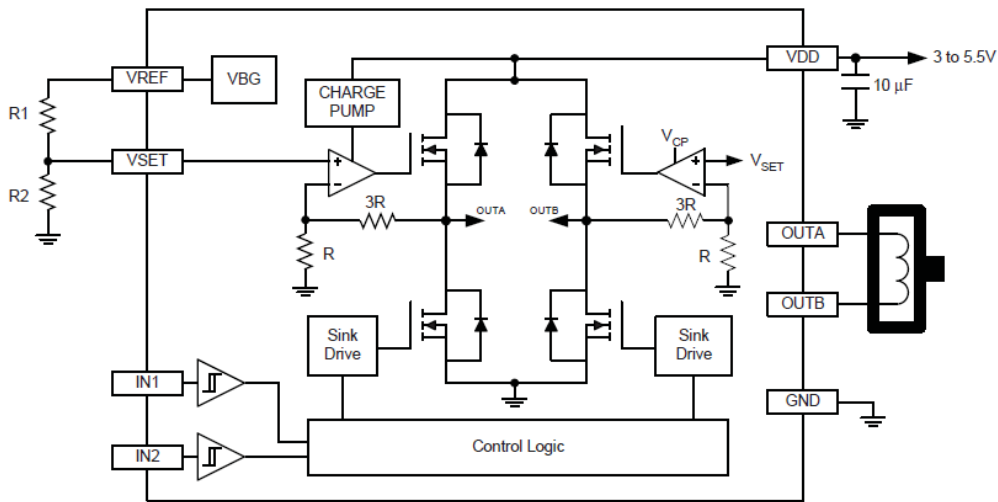


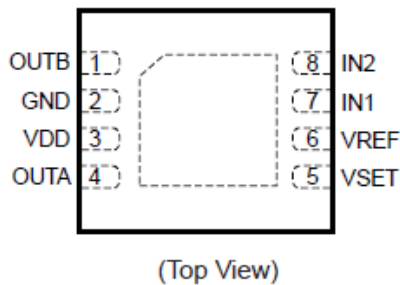
Figura F.1: Driver de magnetopares A3908

El A3908 es un driver de motor DC de baja tensión y bidireccional con un típico rango de tensión de entrada de 3 a 5,5 V y corrientes de salida hasta a 500 mA.

La única salida de puente completo incorpora funcionamiento lineal para permitir una tensión constante a través de la bobina.

Posee entradas lógicas para controlar la dirección del motor giro, freno y modos de espera (consumo menor a 500 nA). La protección interna incluye apagado térmico, bloqueo de mínima tensión y cruce actual de protección (shoot-through).

La figura F.2. indica los terminales del driver.



Terminal	Nombre	Descripción
1	OUTB	Terminal bobina
2	GND	Masa
3	VDD	Alimentación
4	OUTA	Terminal Bobina
5	VSET	Seleccionar voltaje de salida
6	VREF	Referencia banda prohibida
7	IN1	Entrada Control Lógico
8	IN2	Entrada Control Lógico

Figura F.2: Terminales del Driver de magnetopares A3908

Pueden realizarse las siguientes operaciones ó modos de funcionamiento:

Regulación de Voltaje

El A3908 regula la tensión a través de la bobina del motor. El voltaje a través de la OUTA y el terminal OUTB se detecta y se compara con un tensión de umbral interna.

$$V_{OUT} = 4 \cdot V_{REF} \cdot \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right)$$

Siendo $V_{REF} = 1.285V$ (valor típico). Entonces, para el modo directo

$$V_{OUT} = V_{OUTA} - V_{OUTB}$$

y para el modo inverso

$$V_{OUT} = V_{OUTB} - V_{OUTA}$$

Apagado térmico.

El A3908 deshabilitará las salidas si la temperatura de la unión, T_J , llega a $165^\circ C$. Tiene $15^\circ C$ de histéresis, así que cuando la temperatura de la unión cae por debajo de $150^\circ C$, se iniciará el dispositivo funcionando con normalidad.

Modo deserción.

Los controladores de fuentes y sumideros tienen una $R_{DS(on)}$ de aproximadamente $1,2 \Omega$ total. Cuando la tensión de alimentación del motor, V_{DD} , cae demasiado bajo en comparación al valor regulado, el IC entra en el modo de deserción. En este caso, el voltaje a través de la bobina del motor será:

$$V_{MOTOR} = V_{DD} - I_{LOAD} (R_{DS(sink)} + R_{DS(src)})$$

Modo de frenos

Cuando ambas entradas son altas, el A3908 entra en modo de frenado. No hay protección durante el frenado, por lo que la atención se debe tomar para asegurarse de que la corriente de pico no supere la corriente máxima absoluta, I_{OUT} .

Modo en espera

Para minimizar el consumo de batería, en el modo de espera se apagará toda la circuitería y conducirá típicamente menos de $100 nA$. Habrá un retraso muy corto, aproximadamente de $2 ms$, antes de activar los controladores de salida, después de la liberación de modo de espera.

Disipación de potencia.

La energía se puede aproximar sobre la base de los siguientes tres componentes:

$$P_{D(src)} = I_{LOAD} (V_{DD} - V_{REG})$$

$$P_{D(sink)} = I_{LOAD} \times R_{DS(sink)}$$

$$P_{bias} = I_{DD} \times (V_{DD})$$

ANEXOS

El control lógico del driver se realizará teniendo en cuenta la siguiente tabla

IN1	IN2	OUTA	OUTB	MODO
0	0	Off	Off	Espera
0	1	Bajo	V _{REG}	Inverso
1	0	V _{REG}	Bajo	Directo
1	1	Alto	Alto	Frenado

G. MAGNETÓMETRO HCM5883L

El diagrama de bloques del sensor HCM5883L el indicado en la figura G.1

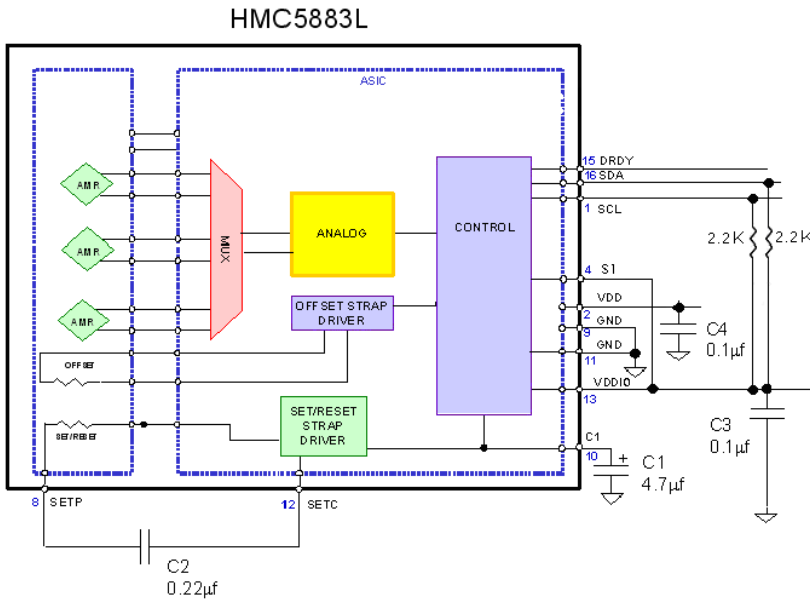


Figura G.1. Esquema interno del magnetómetro de Honeywell HCM5883L

El HMC5883L utiliza la tecnología Anisotropic Magnetoresistive de Honeywell (AMR), tecnología que ofrece ventajas sobre otras tecnologías de sensores magnéticos. Estos sensores de estado sólido están diseñados para medir la dirección y la magnitud de los campos magnéticos de la Tierra, de milli-gauss a 8 gauss. Se encuentran entre los más sensibles y fiables en la industria.

La figura G.2 y la tabla G.1 muestra los terminales y encapsulado del sensor

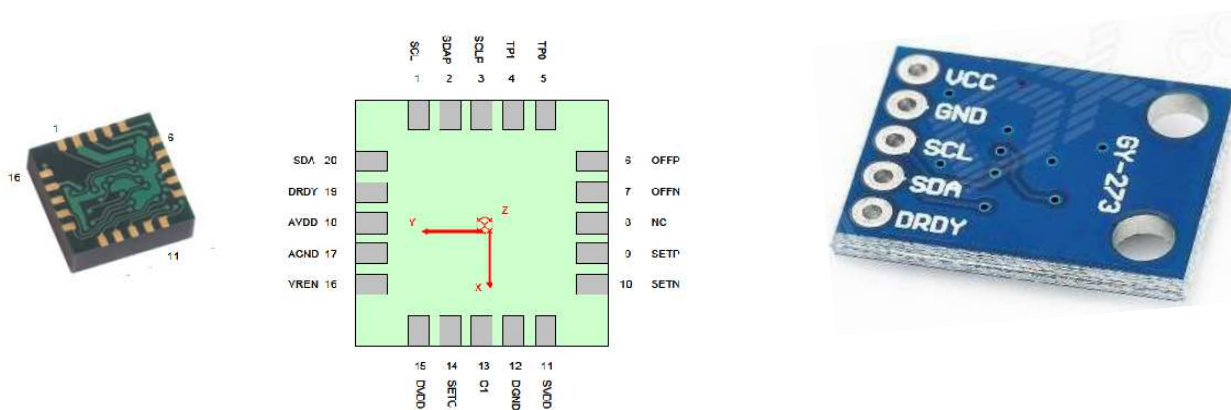


Figura G.2: Honeywell magnetómetro con su pinout

Tabla G.1 Configuración pines del magnetómetro

BIT	NOMBRE	FUNCIÓN
1	SCL	Serial Clock
2	VDD	Alimentación Positiva (2.6V a 3.6V)
3	NC	No Conectar
4	S1	Llevar a VDDIO
5	NC	No Conectar
6	NC	No Conectar
7	NC	No Conectar
8	SETP	Conexión C2
9	GND	Masa
10	C1	Conexión C1
11	GND	Masa
12	SETC	Conexión C2 - Lado driver
13	VDDIO	Alimentación E/S
14	NC	No Conectar
15	DRDY	Dato preparado
16	SDA	Serial Data

Lista de registros

La tabla G.2 muestra los registros y su acceso. Todas las ubicaciones de dirección son de 8 bits.

Tabla G.2 Mapa de Registros

DIRECCIÓN	NOMBRE REGISTRO	ACCESO
00	Registro de Configuración A	R/W
01	Registro de Configuración B	R/W
02	Registro Modo	R/W
03	Salida Dato X (MSB)	R
04	Salida Dato X (LSB)	R
05	Salida Dato Y (MSB)	R
06	Salida Dato Y (LSB)	R
07	Salida Dato Z (MSB)	R
08	Salida Dato Z (LSB)	R
09	Estado	R
10	Identificación A	R
11	Identificación B	R
12	Identificación C	R

Registro de acceso

En esta sección se describe el proceso de lectura y escritura en el dispositivo. Los dispositivos

utilizan un puntero de dirección de indican qué registro de localización es a leer o escribir. Estas direcciones se envían desde el dispositivo maestro (μC) a este dispositivo esclavo (HCM5883L) y se envía la dirección de 7 bits más 1 bit identificador de lectura / escritura.

Para reducir al mínimo la comunicación entre el maestro y este dispositivo , el puntero de direcciones es actualizado automáticamente de la forma indicada en el siguiente algoritmo:

```

Si ( puntero de dirección = 09 ) entonces
    la dirección del puntero = 03
Else if ( dirección del puntero >= 12 ) y luego tratar pointer = 0
Else ( puntero de dirección ) = ( puntero de dirección ) + 1

```

El valor del indicador de dirección en sí no puede ser leído a través del bus I2C . Cualquier intento de leer una ubicación de dirección no válido devuelve 0's, y cualquier escritura a una localización de dirección no válida es ignorado por el dispositivo.

Registro de Configuración A

El registro de configuración (tabla G.3) se utiliza para configurar el dispositivo para ajustar la velocidad de salida de datos y la configuración de medición.

CRA0 a través CRA7 indicar posiciones de bit, con CRA que denota los bits que están en el registro de configuración. CRA7 denota el primer bit de la secuencia de datos. El número entre paréntesis indica el valor predeterminado de ese bit.

Tabla G.3 Registro de Configuración A

CRA7	CRA6	CRA5	CRA4	CRA3	CRA2	CRA1	CRA0
(0)	(0)	(0)	DO2 (1)	DO1(0)	DO0(0)	MS1(0)	MS0(0)

Tabla G.4 Significado de los bit Registro de Configuración A

BIT's	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
CRA7 – CRA5	0	Poner a 0 para una operación correcta
CRA4 - CRA2	DO2-DO0	Indica la velocidad de escritura de los datos leídos em los registros de salidad
CRA1 – CRA0	MS1 – MS0	Bits de configuración de la medidad

La siguiente tabla (tabla G.4) muestra las tasas de salida de datos mínimos que se detallan las condiciones de PVT. Los tres canales se medirán en un dada la velocidad de datos.

Tabla G.4 Modos de medida

MS1	MS0	MODO
0	0	Modo normal (por defecto). Em este modo los pin BP y BN se mantienen flotantes en alta impedancia
0	1	Polarización Positiva. Se fuerza una corriente positiva a través de la carga resistiva de los pines BP y BN.
1	0	Polarización Negativa. Se fuerza una corriente negativa a través de la carga resistiva de los pines BP y BN.
1	1	No utilizado

Tabla G.5 Velocidad mínima de salida de datos

DO2	DO1	DO0	Velocidad Mínima salida datos (Hz)
0	0	0	0.5
0	0	1	1
0	1	0	2
0	1	1	5
1	0	0	10 (defecto)
1	0	1	20
1	1	0	50
1	1	1	NO utilizado

Registro de Configuración B

El registro de configuración B para establecer la ganancia del dispositivo. CRB0 través CRB7 indican posiciones de bit, con CRB que denota la bits que están en el registro de configuración. CRB7 denota el primer bit de la secuencia de datos. El número entre paréntesis indica el valor predeterminado de ese bit.

Tabla G.6 Registro de Configuración B

CRB7	CRB6	CRB5	CRB4	CRB3	CRB2	CRB1	CRB0
GN2(0)	GN1(0)	GN0(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)

Tabla G.7 Significado de los bit Registro de Configuración A

BIT's	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
CRB7 – CRB5	GN2 – GN0	Bits de Configuración de ganancia. La ganancia es común para todos los canales
CRB4 – CRB0	0	Deben ser puestos a cero

La tabla G.8 muestra los valores nominales de ganancia.

Tabla G.8 Configuración de la ganancia

GN2	GN1	GN0	Rango del campo de entrada del sensor	GANANCIA (count/mgauss)
0	0	0	+0.7Ga	1620
0	0	1	+1.0Ga (valor defecto)	1300
0	1	0	+1.5Ga	970
0	1	1	+2.0Ga	780
1	0	0	+3.2Ga	530
1	0	1	+3.8Ga	460
1	1	0	+4.5Ga	390
1	1	1	+6.5Ga	280

Registro de Modo

El registro de modo es un registro de 8 bits de lectura/escritura. Este registro se utiliza para seleccionar el modo de funcionamiento del dispositivo.

Tabla G.9 Registro de Modo

MR7	MR6	MR5	MR4	MR3	MR2	MR1	MR0
(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	MD1(0)	MD0(0)

Tabla G.10 Significado de los bit Registro de Modo

BIT's	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
MR7 – MR2	0	Deben ser puestos a cero
MR1 – MR0	MD1 – MD0	Modo de operación seleccionado

Tabla G.11 Modos de operación

MD1	MD0	MODO
0	0	Modo continuo de conversión. El dispositivo realiza medidas de forma continua colocando los resultados en los registros de datos. Se realiza con una frecuencia f_{DO}
0	1	Modo única conversión. El dispositivo realiza una única medida. Pone el bit RDY = 1.
1	0	Modo Inactivo.
1	1	Modo Dormido

Registro Salida Datos X

Los datos de salida X Registros A y B

Los registros X de salida de datos son dos registros de 8 bits , salida de registro de datos A y B. Estos registros almacenar el resultado de la medición del canal X. Los datos de salida X registro A contiene el MSB del resultado de la medición , y los datos de salida X registro B contiene el LSB desde el resultado de la medición .

El valor almacenado en estos dos registros es un valor de 16 bits en forma de complemento a 2 , cuyo rango es 0xF800 a 0x07FF .

El número entre paréntesis indica el valor predeterminado de ese bit. En el caso de los desbordamientos de ADC lectura o subdesbordamientos para el canal dado , o si hay un desbordamiento de matemáticas durante el sesgo medición , este registro de datos contendrá el valor -4096 en forma de complemento a 2 .

Este valor del registro se borrará cuando después de que se hizo la siguiente medición válida .

Tabla G.12 Registros de Datos Coordinada X

DXRA7	DXRA6	DXRA5	DXRA4	DXRA3	DXRA2	DXRA1	DXRA0
(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)
DXRB7	DXRB6	DXRB5	DXRB4	DXRB3	DXRB2	DXRB1	DXRB0
(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)

Registro Salida Datos Y

Los datos de salida Y Registros A y B

Los registros Y de salida de datos son dos registros de 8 bits , salida de registro de datos A y B. Estos registros almacenar el resultado de la medición del canal Y. Los datos de salida Y registro A contiene el MSB del resultado de la medición , y los datos de salida Y registro B contiene el LSB desde el resultado de la medición .

El valor almacenado en estos dos registros es un valor de 16 bits en forma de complemento a 2 , cuyo rango es 0xF800 a 0x07FF .

El número entre paréntesis indica el valor predeterminado de ese bit. En el caso de los desbordamientos de ADC lectura o subdesbordamientos para el canal dado , o si hay un desbordamiento de

matemáticas durante el sesgo medición , este registro de datos contendrá el valor -4096 en forma de complemento a 2 .

Este valor del registro se borrará cuando después de que se hizo la siguiente medición válida .

Tabla G.13 Registros de Datos Coordinada Y

DYRA7	DYRA6	DYRA5	DYRA4	DYRA3	DYRA2	DYRA1	DYRA0
(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)
DYRB7	DYRB6	DYRB5	DYRB4	DYRB3	DYRB2	DYRB1	DYRB0
(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)

Registro Salida Datos Z

Los datos de salida Y Registros A y B

Los registros Z de salida de datos son dos registros de 8 bits , salida de registro de datos A y B.

Estos registros almacenar el resultado de la medición del canal Z. Los datos de salida Z registro A contiene el MSB del resultado de la medición , y los datos de salida Z registro B contiene el LSB desde el resultado de la medición .

El valor almacenado en estos dos registros es un valor de 16 bits en forma de complemento a 2 , cuyo rango es 0xF800 a 0x07FF .

El número entre paréntesis indica el valor predeterminado de ese bit. En el caso de los desbordamientos de ADC lectura o subdesbordamientos para el canal dado , o si hay un desbordamiento de matemáticas durante el sesgo medición , este registro de datos contendrá el valor -4096 en forma de complemento a 2 .

Este valor del registro se borrará cuando después de que se hizo la siguiente medición válida .

Tabla G.14 Registros de Datos Coordinada Z

DZRA7	DZRA6	DZRA5	DZRA4	DZRA3	DZRA2	DZRA1	DZRA0
(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)
DZRB7	DZRB6	DZRB5	DZRB4	DZRB3	DZRB2	DZRB1	DZRB0
(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)

Operación de los registro de salida. Cuando uno o más de los registros de salida son leídos, los nuevos datos no pueden ser colocados en cualquiera de los registros de datos de salida hasta que se leen todos registros de salida de datos. Este requisito también afecta a DRDY y RDY, que no se puede borrar hasta que se colocan nuevos datos en todos los registros de salida.

Registro de Estado

El registro de estado es de 8 bits y es de sólo lectura. Este registro se utiliza para indicar el estado del dispositivo.

Tabla G.15 Registro de Estado

SR7	SR6	SR5	SR4	SR3	SR2	SR1	SR0
(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	LOCK(0)	RDY(0)

Tabla G.16 Significado de los bit Registro de Estado

BIT's	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
SR7 – SR2	0	Reservados
SR1	LOCK	Este bit se pone a 1 cuando: - algunos, pero no todos de los seis registros de salida de datos se han leído, - registro de Modo ha sido leído. Cuando este bit está establecido, los seis registros de datos de salida están cerrados y los datos nuevos no se colocarán en estos registros hasta que una de estas condiciones se cumplen: 1. Los seis bytes se han leído, 2. se cambia el modo de registro, 3. la configuración de medición se cambia (CRA), 4. Reinicio de energía.
SR0	RDY	Bit Preparado (Ready). Se establece cuando se escriben datos en los seis registros de datos. Se borra cuando el dispositivo inicia una operación de escritura a los registros de salida de datos.

Modos de Funcionamiento

El dispositivo tiene los siguientes modos de funcionamiento.

1. Modo Continuo-Medición

En el modo continuo, el dispositivo realiza continuamente mediciones y los datos medidos son almacenados en los registros de salida.

Ajustes en el registro de configuración afectan a:

- la tasa de salida de datos (bits DO [n]),
- la medición configuración (bits de MS [n]), y
- la ganancia (bits de GN [n]) en el modo continuo de medición.

Los datos se pueden volver a leer desde la salida de los registros de datos si es necesario, sin embargo, si el maestro no asegura que se accede al registro de datos antes de la finalización de la siguiente medición, la nueva medición se puede perder. Todos los registros mantienen los valores, mientras se permanece en el modo continuo de medición.

El bus I2C está habilitado para el uso de otros dispositivos de la red, mientras que en el modo continuo de medición.

2. Modo de una sola medición

Este es el modo de trabajo por defecto, cuando se inicializa el sensor.

Durante el modo de medición individual ó medida única, el dispositivo realiza una sola medida y coloca los datos medidos en los registros de datos de salida. El tiempo de realización se indica en la figura G.3

Los ajustes realizados en el registro de configuración pueden afectar a la medida (bits de MS [n]), y a la ganancia (bits GN [n]). Después de finalizada la medida se realiza de forma automáticas las siguientes acciones:

- se actualiza los registros de datos de salida
- el dispositivo se coloca el modo de reposo,
- el registro de modo se cambia a modo de espera mediante el establecimiento de MD [n] bits.

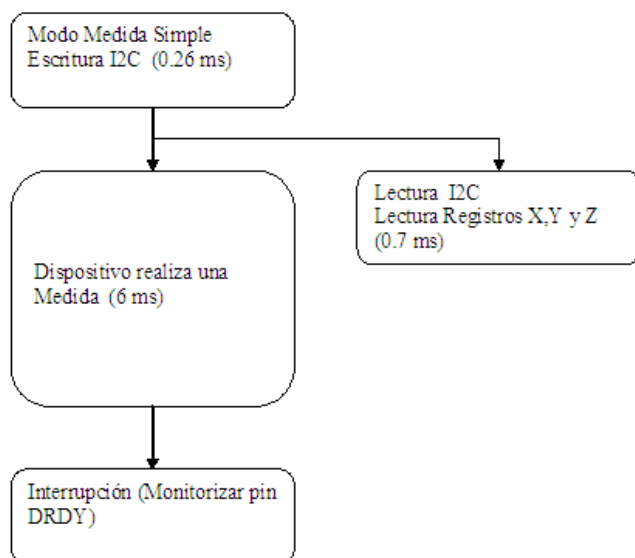


Figura G.3. Periodo típico de una única medida

3. Modo inactivo

Durante este modo, el dispositivo es accesible a través del bus I2C, pero las principales fuentes de consumo de energía están desactivados, tales como el ADC, el amplificador, el pasador SVDD, y la corriente de polarización del sensor. Todos los registros mantienen sus valores. El bus I2C está habilitado para el uso de otros dispositivos de la red.

4. Modo de reposo

Durante el modo de reposo la funcionalidad del dispositivo se limita a escuchar el bus I2C. El reloj interno no funciona y no se mantienen los valores de los registros.

La única funcionalidad que existe durante este modo es que el dispositivo es capaz de reconocer y ejecutar las instrucciones específicas para este dispositivo.

Este modo tiene dos con el modo inactivo. En primer lugar este estado va a crear menos ruido en el sistema, ya que el reloj está desactivado, y en segundo lugar este estado es un estado mucho menor consumo de corriente ya que el reloj está desactivado.

5. Off Mode

Durante el modo de apagado el dispositivo está apagado. No existe ninguna funcionalidad del dispositivo. El bus I2C está habilitado para uso por otros dispositivos de la red en el modo de apagado. En este modo los pasadores de I2C deberán estar en un estado de alta impedancia.

Prueba de Funcionamiento (TEST)

Para comprobar el HMC5883L para un funcionamiento correcto, una función de autoverificación está incorporada. En ella el sensor se excita para crear una intensidad de campo nominal (campo de polarización) a medir.

Para llevar a cabo el auto-test, los bits menos significativos (MS1 y MS0) de registro de configuración A se cambian del valor de reposo (00) al valor de sesgo positivo (01) o de sesgo negativo (10). A continuación, se coloca el modo de registro en el modo de medición simple o continuo, dos ciclos de adquisición de datos se realizarán en cada vector magnético.

La primera adquisición será un pulso de conjunto seguido en breve por los datos de medición del campo externo. La segunda adquisición tendrá la correa de desplazamiento excitado (aproximadamente 10 mA) en el modo de polarización positiva para X, Y, y Z para crear sobre un campo de prueba auto 1,1 gauss más el campo externo.

Los primeros valores de adquisición se restarán de la adquisición de un segundo, y la medición neta se colocarán en los registros de salida de datos.

Como prueba de test añada aproximadamente 1,1 Gauss de campo adicional a la intensidad de campo existente, utilizando un ajuste de ganancia reducida impide al sensor estar saturado y evitar que los registros de datos se desborden. Por ejemplo, si la configuración del registro B se establece en 0xA0 (Gain = 5), los valores alrededor de 452 LSb ($1,16 \cdot 390 \text{ LSb / Ga}$) serán colocados en los ejes X e Y los registros de salida de datos y alrededor de 421 ($1,08 \text{ Ga}$ se colocarán $\cdot 390 \text{ LSb / Ga}$) en Z registro de salida de datos.

Para salir del modo de prueba automática, cambie MS1 y MS0 bits del registro de configuración Una vuelta a 00 (modo de medición normal). Los límites aceptables de los valores de auto prueba dependen del ajuste de ganancia. Límites de ganancia = 5 se presenta en la tabla de especificaciones.

← [Volver](#)

H. MONTAJE EXPERIMENTAL PARA MEDIR LA DENSIDAD DEL FLUJO MAGNÉTICO

La densidad de flujo magnético de un magnetopar puede ser medida utilizando un magnetómetro. El sistema experimental para medir la densidad de flujo magnético se muestra esquemáticamente en la figura H-1.

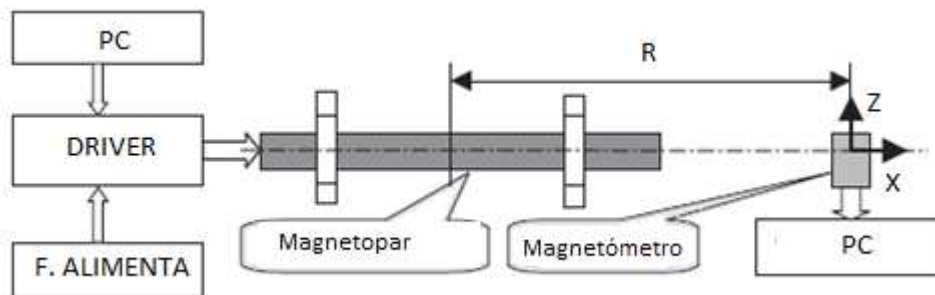


Figura H-1. Montaje experimental para medir la densidad de flujo magnético.

Se observó que ningún objeto metálico en las proximidades de unos pocos metros de la maqueta tenían un efecto significativo en el campo magnético del magnetopar. Estos objetos metálicos pueden ser la estructura metálica del edificio, los componentes metálicos de la equipo de prueba, las partes metálicas de la mesa de soporte, y así. También se encontró que la posición y la orientación del sensor de campo magnético tuvo efectos significativos en el campo magnético o en la exactitud de la medición.

Para minimizar la interferencia de los factores antes mencionados en el campo magnético del magnetopar, todas las pruebas se llevaron a cabo en un campo abierto. Se prestará más atención especial para asegurar que no existía metal magnético alrededor del magnetopar bajo prueba. La única excepción fue el ordenador PC para la recopilación de datos y la fuente de alimentación de CC del magnetopar. El equipo estuvo a 3,5 m de distancia y la fuente de alimentación a 1.5 m de distancia del magnetopar. Para reducir al mínimo la interferencia del campo magnético, el magnetómetro fue colocado en la dirección axial del magnetopar, es decir, $\theta = 0^\circ$, y fue de 600 mm de distancia del centro de la magnetopar, es decir, $R = 600$ mm.

I. HILOS DE COBRE

Tabla I.1. Parámetros hilo de cobre

Wire Diameter [mm]	Cross Area [mm ²]	Diameter incl. Insulation [mm]	Area incl. Insulation [mm ²]	Filling Factor
0,100	0,007854	0,108	0,0091609	9124
0,106	0,008825	0,115	0,0103868	8154
0,110	0,009503	0,119	0,0111220	7571
0,112	0,009852	0,121	0,0114990	7331
0,118	0,010936	0,128	0,0128680	6627
0,120	0,01131	0,13	0,0132732	6431
0,125	0,012272	0,135	0,0143139	5934
0,130	0,013273	0,141	0,0156145	5454
0,132	0,013685	0,143	0,0160606	5307
0,140	0,015394	0,151	0,0179079	4775
0,150	0,017671	0,162	0,0206120	4165
0,160	0,020106	0,172	0,0233522	3686
0,170	0,022698	0,183	0,0263022	3250
0,180	0,025447	0,193	0,0292553	2931
0,190	0,028353	0,204	0,0326851	2618
0,200	0,031416	0,214	0,0359681	2386

Datasheet of available Copper Wire IEC 60317

Elektrisola, Data specification: *Technical Data by size, IEC 317*

La norma IEC-60317, se encuentra en uno de los siguientes enlaces:

[Datos hilos esmaltados](#)

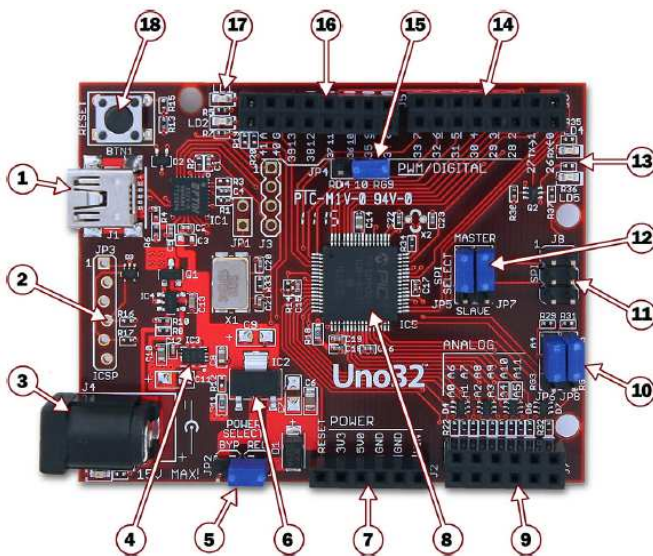
<http://www.elektrisola.com/enamelled-wire/technical-data-by-size/iec-60-317.html> .

<-- [Volver](#)

J. CARACTERÍSTICAS CHIPKITUNO32

Introducción

Tiene los conectores de doble fila. Las filas exteriores incluyen dos cabeceras de 8 pines que contienen 14 E/S digitales, una cabecera analógica de 6 pines y un cabezal de alimentación de 6 pines. El módulo chipKIT Uno32 es compatible con el módulo de Arduino UNO a pesar de que la chipKIT tiene conectores de fila doble.



1. Conector USB para USB Serial Converter

Este se conecta a un puerto USB en el PC para proporcionar el puerto de comunicaciones para la MPIDE hablar con la junta Uno32. Esto también se puede utilizar para alimentar la placa Uno32 cuando está conectado al PC.

2. JP3 - Microchip depuración herramienta Conector

Este conector se utiliza para conectar el programador / herramientas del depurador de Microchip, como PICKIT3. Esto permite que Uno32 pueda ser utilizado como un microcontrolador tradicional de desarrollo utilizando el Microchip MPLAB® IDE.

3. J4 - Conector de alimentación externa

Se trata de un conector de 5.5mm x 2.1mm utilizado para alimentar la placa de una fuente de alimentación externa. La tensión de alimentación debe estar en el rango de 7V a 15V.

4. Fuente de alimentación - Regulador 3.3V

El regulador de voltaje para la fuente de alimentación 3.3V. Esta fuente de alimentación puede proporcionar hasta 500mA de corriente.

5. JP2 – Puente de Selección de Potencia

Este puente se utiliza para derivar energía del conector de alimentación externa a través del regulador de voltaje de 5V o para omitir el regulador de 5V. La posición REG pasa a través del regulador de 5V. La posición BYP no pasa por el regulador de 5V. Con este puente en la posición BYP la tensión de entrada máxima que se puede aplicar en el conector de alimentación externa es 6V.

6. Fuente de alimentación - 5V Regulador

Este regulador de tensión de 5V regula la tensión de entrada aplicada al conector de alimentación externa de 5V. Esto se utiliza para alimentar el regulador de 3,3 V y 5 V para proporcionar energía a las tarjetas de expansión. Este regulador puede proporcionar hasta 800mA de corriente.

7. J2 - Conector de alimentación

Este conector proporciona energía a las tarjetas de expansión de E / S conectados a la tarjeta.

8. PIC32 Microcontroladores

El microcontrolador PIC32MX320F128H es el procesador principal.

9. J7 - Conector de señal analógica

Este conector proporciona acceso a los pines de E / S analógicas/digitales en el microcontrolador.

10. JP6/JP7 - Seleccionar señales A4/A5

Estos puentes se utilizan para cambiar los pines 9 y 11 en el conector J7 entre las entradas analógicas A4 y A5 o señales I2C, SDA y SCL.

11. J8 - Conector de señal SPI

Este conector proporciona acceso alternativo a las señales SPI. Esto es utilizado para el acceso al bus SPI.

12. JP5/JP7 – Selector SPI Master / Slave

Estos puentes se utilizan para utilizar el bus SPI como un dispositivo maestro o como un dispositivo esclavo. Ambos puentes deben cambiar juntos. Coloque los bloques de cortocircuito en la posición del maestro para la operación MASTER y en la posición SLAVE para funcionamiento esclavo. Normalmente, estos puentes están en la posición MASTER.

13. LEDs de usuario

Dos LEDs conectados a la señal digital de los pines 13 y 43.

14. J6 - Conector de señal digital

Este conector proporciona acceso a los pines de E / S digitales en el microcontrolador.

15. JP4 - Puente de Selección de señal

Este puente se utiliza para cambiar pin 5 del conector J5 (señal digital - 10) entre la anchura de un impulso del modulador (PWM) y operación de SPI. El puente se coloca en la posición RD4 para la salida de PWM y en la posición RG9 para la operación de SPI.

16. J5 - Conector de señal digital

Este conector proporciona acceso a los pines de E / S digitales en el microcontrolador.

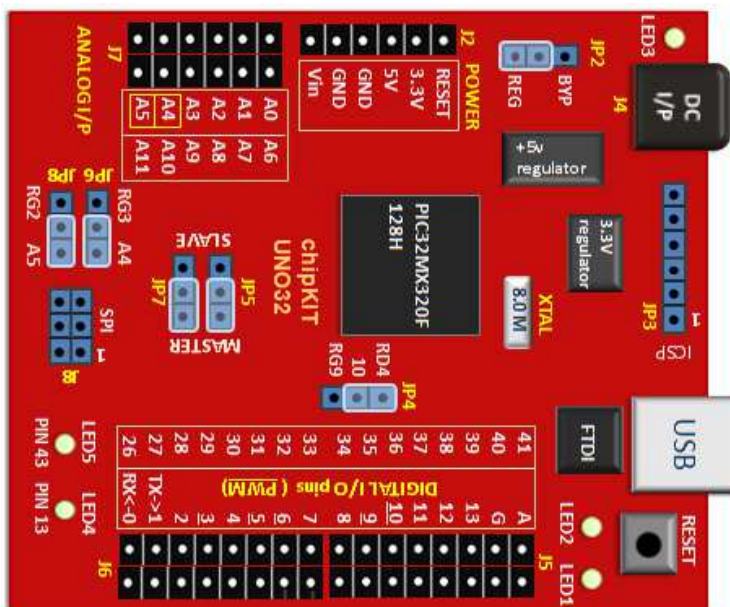
17. LEDs de estado de comunicaciones

Estos LED indican la actividad en la interfaz serial USB.

18. Botón de reinicio

Este botón se puede utilizar para reiniciar el microcontrolador, reinicie la operación desde el gestor de arranque.

Un formato más relajado es el indicado en la siguiente figura.



Terminales digitales

Cada uno de los 14 pins digitales en la chipKIT Uno32 pueden utilizarse como entradas o salidas, utilizando (funciones) pinMode (), digitalWrite (), y digitalRead.

Cada pin puede proporcionar o recibir un máximo de 25 mA y tiene una protección por lo que será 5v compatible.

Serial: pin0 (RX) y el pin 1 (TX)

Estos pines se utilizan para recibir (RX) y transmitir (TX) datos en serie y están conectados a los pines correspondientes de la interfaz USB-to-TTL (chips FTDI). Es a través de estos pines por donde se graba el programa.

Interrupciones externas: PIN2 (pin 7, 8) –

Estos pines pueden reaccionar a una señal externa de forma automática si se ha configurado por software. Puede configurarse para activar una interrupción en un valor bajo, un flanco ascendente o descendente, o un cambio en el valor.

La función attachInterrupt() se utiliza para realizar dicha configuración.

PWM: pin3, pin5, pin6, pin9, PIN10 (es PWM mediante puente JP4)

Proporcionar salida PWM con la función analogWrite().

SPI: PIN10 (SS a través de puente JP4), PIN11 (MOSI), PIN12 (MISO), Pin13 (SCK)

Estos pines soportan la comunicación Maestro SPI. (Esclavo utilizando jumpers).

LED. Pin13

Hay un LED conectado a Pin13 digital.

Cuando el pin es ALTO el LED está encendido, cuando el pasador es BAJO está apagado

Terminales Analógicos

El chipKIT Uno32 tiene 6 pines analógicos.

Conversión de analógico a digital (ADC): A0 través A5

Las entradas analógicas con una resolución de 10 bits (es decir, 1.024 valores diferentes). Los pines analógicos Uno32 miden desde el 0 a 3,3 voltios. El voltaje de referencia se puede cambiar a un voltaje inferior utilizando el pin AREF y la función analogReference().

I2C: A4 (SDA), A5 (SCL)

Estos pines soportan la comunicación I2C utilizando la librería Wire. En Uno32 tiene que mover dos puentes en la placa de circuito antes de usar los pins A4 y A5 como pines I2C.

Referencia analógica: AREF

Terminal para el voltaje de referencia para las entradas analógicas. Se utiliza con `analogReference()`. Este pin se encuentra en la fila de cabecera digital

Terminales de alimentación

El chipKIT Uno32 tiene las conexiones de alimentación indicadas a continuación.

Reset

Este pin se conecta a los microcontroladores pin de restablecimiento y tirando de este pin a tierra se restablecerá la Uno32 para ejecutar el boceto en su memoria desde el principio.

VIN

Este pin su conectado a la toma central del conector de 2,1 mm y hace que sea fácil de conectar a la tensión de entrada de la placa Uno32.

5V

Este pin tiene el poder de cinco voltios producida por el regulador de cinco voltios del Uno32 regulado.

3V3

Un suministro de 3,3 voltios es generada por el regulador de 3.3V a bordo.

GND

Dos pines de tierra están en esta cabecera

Comunicaciones

El chipKIT Uno32 tiene un número de opciones para la comunicación con un ordenador, otro chipKIT, u otros microcontroladores.

El chip chipKIT tiene un periférico serie (UART) interno de comunicación que está disponible en los pines digitales 0 (RX) y 1 (TX).

Un chip FTDI FT232RL, convierte esta comunicación serie a USB. Los drivers FTDI (incluido con el software chipKIT) proporcionan un puerto com virtual para el software en el ordenador.

El software chipKIT MPIDE también incluye un monitor serie que permite que los datos ASCII simples puedan ser enviados hacia y desde chipKIT.

El chip FTDI tiene RX y TX LED que se encienden cuando se están transmitiendo datos a través del chip FTDI. La biblioteca de serie también está disponible y ofrece funciones de software para la comunicación en serie.

El software también es compatible con I2C y SPI a través de las bibliotecas de software.

Programación

El software de programación se ejecuta en un PC, MAC ó Linux. Se llama MPIDE, siglas de Multi-Purpose integrado entorno de diseño. MPIDE se puede utilizar para programar módulos chipKIT o cualquier módulo de Arduino.

PIC32 microcontrolador del Uno32 se programa mediante un bootloader y para cargar el software no necesita un programador hardware. El software chipKIT tiene un editor para escribir los bocetos (sketch), incorpora un compilador y una interfaz del gestor de arranque. Con un solo clic del ratón, el software se puede compilar y luego enviar a la memoria flash.

Para usuarios avanzados, también puede pasar por alto el gestor de arranque y programar el microcontrolador a través del ICSP (In-Circuit Serial Programming) con un programador hardware adicional.

← [Volver](#)

K. CARACTERÍSTICAS ELASTOSIL



ELASTOSIL® A07 TRANSLUCENT

RTV-1 SILICONE RUBBER / ADHESIVE

Product data

Typical general characteristics	Inspection Method	Value
Product data (uncured)		
Color		colorless
Density	DIN 51757	0,98 g/cm ³
Viscosity, dynamic at 25 °C		8000 mPa.s
Solvent content (toluene)		25 %
Skin-forming time, 23 °C, 50 % RH		3 min
Curing time, 23 °C, 50 % RH		12 h/mm
Shrinkage		30 %
Product data (cured)		
Density at 23 °C	ISO 2781	1,02 g/cm ³
Hardness Shore A	ISO 868	20
Elongation at break	ISO 37	300 %
Tensile strength	ISO 37	1,5 N/mm ²
Tear strength	ASTM D 624 B	4,0 N/mm

2 mm, 14 d storage at 20 °C, 50 % RH

These figures are only intended as a guide and should not be used in preparing specifications.

[← Volver](#)

L. SOFTWARE MATLAB. ALGORITMIA SENSOR ESTRELLAS

```

% *****
% Programa: centroiding.m
% *****

clear all;

% Define el limite de intensidad de luz
It = 20;

% Define la region de interes, a analizar.
alfa = 7;

% Crea una arreglo de 2 dimensiones de tipo double
% I = zeros (alto, ancho);
% Crea una arreglo de 3 dimensiones de tipo double I = zeros (alto, ancho, 3);

% Lee una imagen en formato uint8
I = imread('cumulos-estelares-01.jpg');
% tam contiene el tamaño de la imagen I
tam = size(I);
%crea una nueva ventana
figure;
% muestra la imagen I en formato uint8
imshow(I);

% Transforma una imagen en color a otra en tonos de gris en formato uint8
I2 = rgb2gray(I);
% tam2 contiene el tamaño de la imagen I
tam2 = size(I2);
%crea una nueva ventana
figure;
% muestra la imagen I en formato uint8
imshow(I2);

% *****
% Algoritmo de centroiding
% Para cada pixel de la imagen con coordenada (x,y) con valor de I(x,y) > It
% miramos el área cuadrada de longitud "alfa".
% Las coordenadas de cuadrado viene dadas por las expresiones siguientes
% xs, ys coordenadas del vertice inferior izquierdo
% xe, ye coordenadas del vertice superior derecho.
tam2x=tam2(1,:) % N° filas de I2
tam2y=tam2(2); % N° columnas de I2

% Crea una arreglo de 2 dimensiones de tipo double como matriz normalizada
Inorm = zeros(xe, ye);
Icm = zeros(tam2x, tam2y);

xs=xe=0;
ys=ye=0;
for (x=1:tam2x)
% Obtención de los pixel de la matriz, para comprobar su intensidad
for (y=1:tam2y)
Ia = I2[x,y];
if (Ia >= It)
% Calculo de las coordenadas dentro de la región
xs=x-((alfa-1)/2);

```


ANEXOS

```
% Visualización de resultados
fprintf ('Movimiento total: en X: %i, en Y: %i \n', total1, total2);
fprintf ('Rotacion: %i grados \n', angt);
```

```
function [Ib] = average_intensity( I, xs, xe, ys, ye )
% I superior
xe=xe-1;
for i=xs:xe
    Ib = I(i,ys);
end
```