

Sistema de Despliegue PlantSat

Informe técnico

Alumnos: Diego Benavides
Javiera Chasco

Académico Guía: Elías Obreque

Profesor: Marcos Díaz

Fecha de entrega: 21 de Agosto, 2020
Santiago, Chile

Índice de Contenidos

1. Introducción	1
2. Presentación del problema	2
2.1. Objetivo general	3
2.2. Objetivos específicos	3
3. Solución del problema	4
3.1. Labores eléctricas	4
3.1.1. División del circuito original	4
3.1.2. Aspectos técnicos de los subcircuitos	5
3.1.3. Protocolo de comunicación para sensores de temperatura	10
3.1.4. Placas Obtenidas	11
3.2. Labores mecánicas	14
3.2.1. Especificaciones técnicas	14
3.2.2. Especificaciones de las placas	15
3.2.3. Determinar superficie útil de las caras exteriores de las placas	17
3.2.4. Soportes para paneles de despliegue	18
3.2.5. Componentes utilizados en las placas [8]	19
3.2.6. Soporte para cámara	21
4. Conclusión	25
Referencias	26

Listado de Figuras

1	Esquemático base del circuito de despliegue.	2
2	Vista tridimensional de la ubicación de los subcircuitos.	4
3	Esquemático de la solución propuesta.	5
4	Esquemático del subcircuito A1.	6
5	Esquemático del subcircuito B1.	7
6	Esquemático del subcircuito A2.	8
7	Esquemático del subcircuito B2.	9
8	Esquemático de la miniplaca para interruptor de contacto TH.	10
9	Esquemático de la miniplaca para interruptor de contacto SMD.	10
10	Board elaborado para cada uno de los subcircuitos.	12
11	Board elaboradas para las dos versiones de las miniplacas.	13
12	Dimensiones para cara lateral y vista en 3D de un CubeSat 3U.	14
13	Dimensiones para la placa del tipo A (A1 y A2).	15
14	Dimensiones para la placa B1.	16
15	Dimensiones para la placa B2.	16
16	Dimensiones para la placa pequeña de cobre.	17
17	Vista frontal de la placa A ensamblada a la estructura principal.	17

18	Vista frontal de la placa B2 ensamblada a la estructura principal.	18
19	Dimensiones y vista 3D para soporte.	19
20	Sistema tornillo-golilla-tuerca para el nicromo.	20
21	Tornillo correspondiente al soporte de despliegue.	20
22	Módulo de cámara Raspberry Pi V2.	22
23	Posibles posiciones para implementar soporte de cámara.	22
24	Dimensiones del soporte para la cámara.	23
25	Vista 3D del soporte para la cámara.	23
26	Múltiples vistas del soporte de la cámara implementado.	24

Lista de Tablas

1	Asignación de número binario para la identificación de los sensores de temperatura.	11
2	Especificaciones técnicas del tornillo.	19
3	Especificaciones técnicas de la tuerca.	21
4	Especificaciones técnicas de la golilla.	21
5	Tipo de componente y cantidad usada en cada placa.	21

1. Introducción

Las tecnologías digitales son parte fundamental en muchos aspectos del desarrollo humano, y lo serán aún más si se considera que estas son cada vez más baratas y pequeñas que antaño. En concordancia con lo anterior, desde que en 1999 la Universidad Politécnica Estatal de California y la Universidad de Stanford desarrollaron el estándar de nanosatélites CubeSat, muchas instituciones educativas y científicas han visto la oportunidad de realizar proyectos espaciales mucho más asequibles.

En este contexto es donde se ubica la misión PlantSat del Laboratorio de Exploración Espacial y Planetaria de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, cuyo objetivo es estudiar la vida de las plantas en el espacio, con el fin de que estas puedan servir como fuente de alimento y de oxígeno en las futuras misiones espaciales de larga duración, como las que llevarán a la humanidad a explorar el planeta Marte algún día.

El presente trabajo detalla el proceso de elaboración de un circuito eléctrico capaz de controlar el despliegue de paneles de protección lumínica y radiación del nanosatélite PlantSat. En particular, se detallará el proceso de rediseño de los esquemáticos existentes para dicha tarea, la confección de las placas de circuito impreso para dicho rediseño, y las consideraciones mecánicas que se deben tener en cuenta a la hora de escoger la ubicación de los componentes eléctricos o el tamaño y forma de las placas que los contienen.

Este informe se cuenta con la presente introducción, una presentación general del problema a resolver con el listado de objetivos a tener en cuenta, una sección en donde se trata de forma técnica (desde el punto de vista eléctrico y mecánico) la solución del problema original, y una conclusión en donde se sintetizan todos los aprendizajes obtenidos durante el desarrollo desde trabajo y pasos futuros que se pueden llevar a cabo.

2. Presentación del problema

La meta del presente trabajo es lograr implementar un circuito eléctrico que sea capaz de activar un sistema de despliegue de los paneles de protección lumínica y radiación del nanosatélite PlantSat. Para ello, se le hace entrega al equipo de trabajo un circuito base que ya es capaz de realizar dicha acción, el cual se puede apreciar en la figura 1.

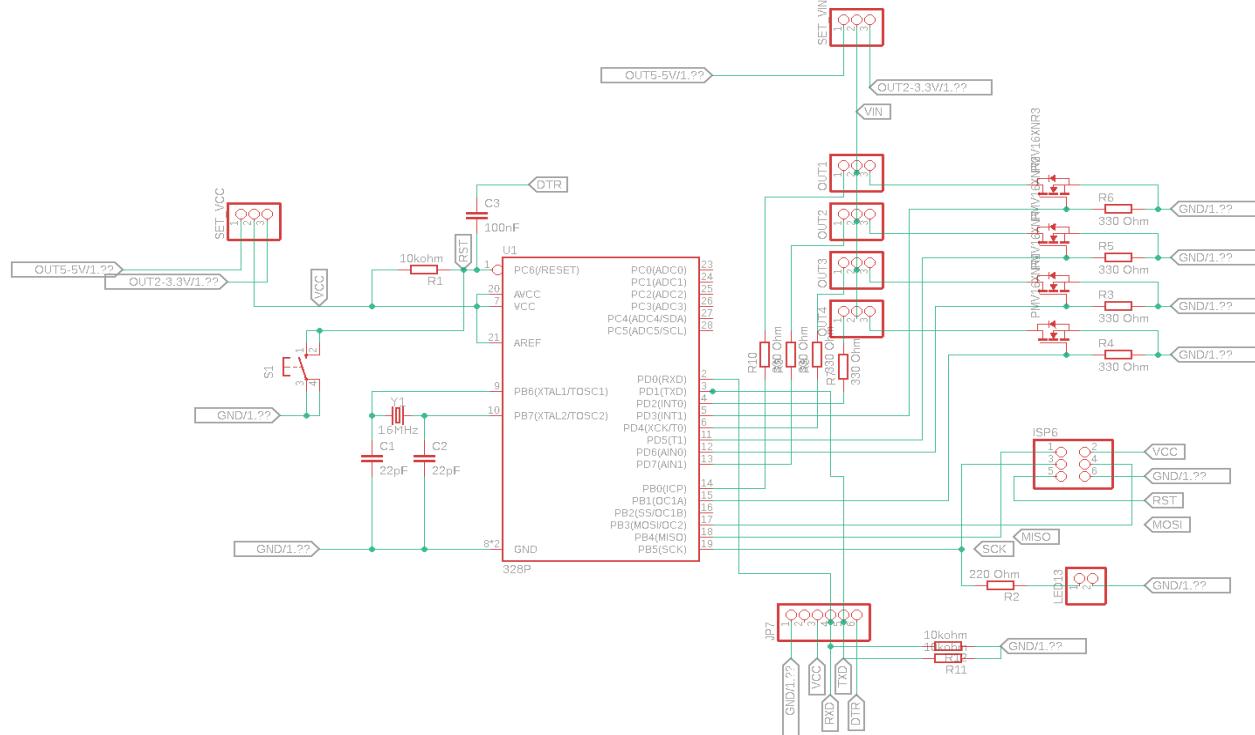


Figura 1: Esquemático base del circuito de despliegue.

Este circuito cuenta con un microcontrolador ATmega 328p cuya principal función es regular la tensión en la compuerta gate de cada uno de los mosfet del circuito, con el fin de activar o desactivar el modo de conducción de cada uno de ellos. Cuando un mosfet entra en el modo de conducción, permite el paso de corriente eléctrica a través de un alambre de nicromo, el cual alcanza temperaturas lo suficientemente elevadas para accionar un mecanismo de despliegue de los paneles mediante el corte de un hilo. Desde luego, el circuito está diseñado para que el usuario pueda escoger libremente una tensión de activación de 3.3V o 5V.

La orden de activación del modo de conducción es proporcionada por la computadora del nanosatélite (OBC) a través del bloque JP7, mientras que la orden de desactivar el modo de conducción es proporcionada por el mismo microcontrolador. Para ello, se deben ubicar interruptores de contacto de tal manera que el microcontrolador pueda leer de forma continua si estos se encuentran pulsados (panel cerrado) o no (panel abierto).

En cuanto a la función que desempeñan el resto de componentes del esquemático anterior, se puede destacar: el bloque ISP6 que permite configurar el microcontrolador de acuerdo a las instrucciones mencionadas anteriormente; un botón de reset externo a la izquierda del microcontrolador que permite reiniciarlo; resistencias para regular el paso de corriente por el interruptor de contacto y por el mosfet; y condensadores para eliminar el ruido en el botón de reset y en el reloj de 16 Mhz del microcontrolador, aspecto que es fundamental si se trabaja con voltajes bajos y el circuito se encuentra en el espacio.

Con todas las características anteriores en mente, se solicita al equipo de trabajo realizar modificaciones a dicho circuito, de tal manera que se puedan satisfacer cada uno de los objetivos detallados a continuación.

2.1. Objetivo general

Diseñar, construir y programar un circuito eléctrico reducido capaz de activar el despliegue de paneles del nanosatélite PlantSat.

2.2. Objetivos específicos

- Conocer y comprender las especificaciones técnicas de diseño para un CubeSat y placas de circuito impreso.
- Reducir el tamaño del circuito base y el de sus componentes.
- Agregar sensores de temperatura al circuito para que dichas lecturas sean entregadas al OBC.
- Simular el nuevo circuito y verificar que este opere correctamente.
- Realizar y dividir las tareas acorde a las capacidades y conocimientos de cada integrante del equipo de trabajo.
- Familiarizarse con distintos programas necesarios para llevar a cabo los objetivos, entre los que se encuentran Eagle, Inventor y Proteus.

3. Solución del problema

Para ejemplificar de mejor manera todo el proceso de diseño que da solución al problema general y a los objetivos específicos, se opta por hacer una división de las labores eléctricas y mecánicas que son necesarias para lograr dicho cometido, las cuales son las que se detallan a continuación.

3.1. Labores eléctricas

3.1.1. División del circuito original

Tal y como fue mencionado en la sección anterior, se desea reducir el tamaño del circuito base con el fin de optimizar el espacio disponible dentro del CubeSat. Para ello, la solución propuesta es la división del circuito original en cuatro subcircuitos: A1, B1, A2 y B2, de tal manera que cada uno de estos pueda ser ubicado en los interstage del nanosatélite, tal y como se muestra en la figura 2 que sigue a continuación.

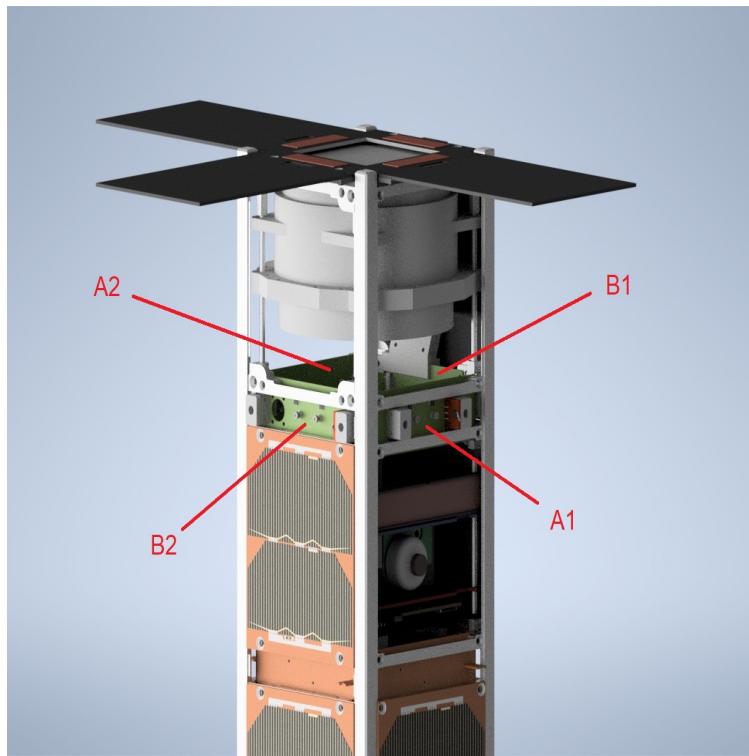


Figura 2: Vista tridimensional de la ubicación de los subcircuitos.

Si bien esta solución elimina la necesidad de usar una gran placa dentro del cubesat, tiene la gran desventaja que muchos de los componentes eléctricos originales del circuito son demasiado grandes para ser ubicados en ellas. Es por este motivo que se optó por reemplazar cada componente through-hole (TH) del circuito original por sus equivalentes de soldadura superficial (SMD), ya que estos tienen un tamaño mucho mas reducido que su contraparte.

Tras aplicar los dos conceptos detallados anteriormente se obtiene el esquemático mostrado en la figura 3. Es importante destacar que este circuito tiene la particularidad de conectar cíclicamente cada subcircuito mediante buses, útil para compartir señales comunes (alimentación y tierra) como para intercambiar instrucciones comunes desde el microcontrolador al resto de los subcircuitos.

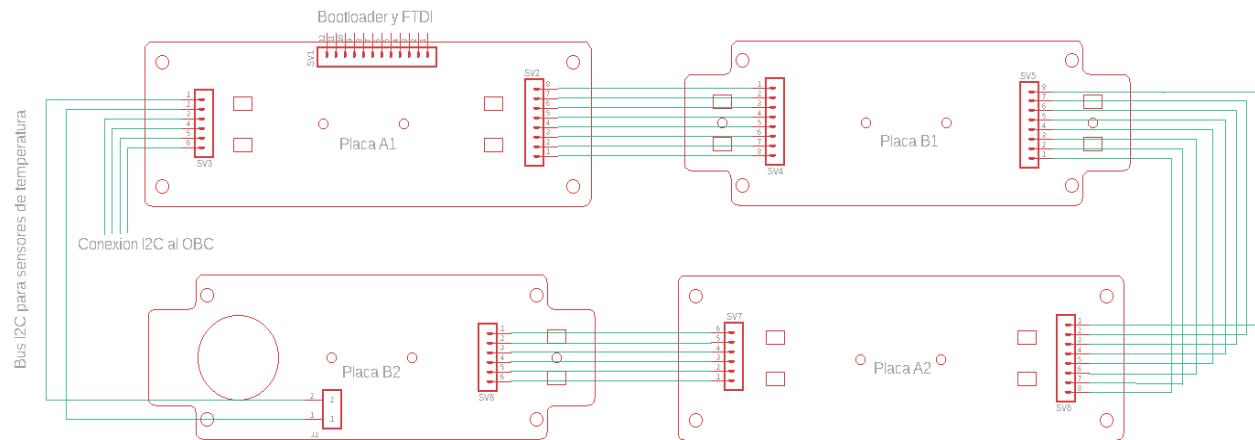


Figura 3: Esquemático de la solución propuesta.

3.1.2. Aspectos técnicos de los subcircuitos

Los tópicos tratados anteriormente permiten dar una respuesta preliminar a las razones del por qué realizar un rediseño del circuito base considerando subcircuitos, pero no son suficientes para justificar la elección de determinados componentes para cada uno de estos. Es por ello que en el siguiente listado se presenta una descripción general del funcionamiento de cada subcircuito y los fundamentos que conllevan a la elección de los dispositivos que los componen.

Circuito A1

Corresponde a la placa central del sistema de despliegue, ya que desde este lugar se envían desde el microcontrolador (ATmega 328p) las órdenes de activación del sistema de despliegue para cada placa, y donde también se procesan las lecturas de medición de temperatura de estas. Por simplicidad, tanto la placa como los dispositivos que se encuentran ubicados en ella son alimentados con un voltaje continuo de 5V.

Puesto que el microcontrolador es un dispositivo digital, se requiere escoger una señal de reloj binaria adecuada que permita coordinar las acciones mencionadas anteriormente. Para ello, se sigue la recomendación del académico Alex Becerra del SPEL, quien por su experiencia en el rubro, sugiere escoger un cristal cerámico miniatura ABM3 de 16 MHz. Desde luego, la ubicación de este componente se escoge lo más cercana posible al microcontrolador, ya que esto minimiza lo máximo posible el ruido (ver figura 4).

En la misma linea de lo anterior, se agregan condensadores con el fin de asegurarse de filtrar el ruido en las señales de reloj y de reset del microcontrolador. Los valores de estos son fijados respectivamente en 22pF y $0.1\mu\text{F}$, debido a que son los típicamente recomendados en la documentación del ATmega328p [1].

Ya conocidos los componentes necesarios para funcionamiento básico del microcontrolador, se puede proceder a dar detalle a las conexiones del sistema de despliegue de la placa. Ello requiere agregar resistencias de 330Ω para regular el paso de la corriente hacia el interruptor de contacto y para el mosfet PMV16XNR, tal y como se aprecian en la figura 4.

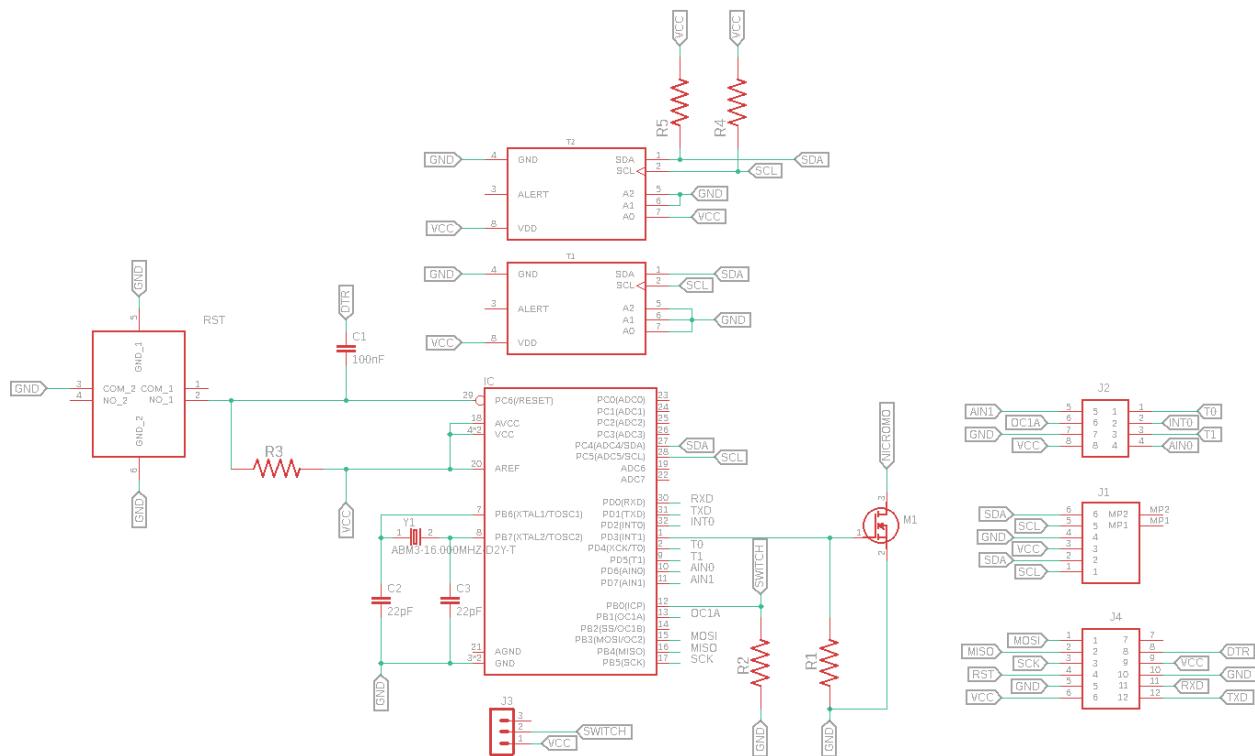


Figura 4: Esquemático del subcircuito A1.

Los sensores de temperatura (T1 y T2) de esta placa son conectados mediante protocolo i2C al microcontrolador, no sin antes hacerlo pasar las señales SCK y SCL de estos por resistencias de pull up de $4,7\text{k}\Omega$. La razón de esto, es que permite eliminar el ruido blanco de estas señales, aspecto que es fundamental si se considera que las rutas que transportan dichas señales son comunes para todos los subcircuitos, por lo que al ser largas tienen mas posibilidades de acumular falsos positivos.

Respecto a la comunicación de esta placa con el resto del sistema, se tiene que esta se logra con 3 conectores picoblade molex. El conector J1 de la figura 4 se encarga de usar la comunicación i2C para recibir órdenes del OBC y para recibir la información de los sensores de temperatura ubicados en la placa B2.

Respecto a el conector J2, este se utiliza para intercambiar la información (de ida y de vuelta) del estado de los interruptores de contacto y de el modo de conducción de los mosfet de las placas restantes, además de señales comunes como el voltaje de alimentación y tierra. Por otro lado, el conector J3 es utilizado para la programación del microcontrolador (BootLoader y FTDI).

Circuito B1

Corresponde a una placa secundaria, ya que ella solo recibe la orden de despliegue del sistema de despliegue de la cara del CubeSat a la que se encuentra asociada, y envía las lecturas de los sensores de temperatura por los buses SCK y SCL.

De forma muy similar al circuito anterior, esta placa contiene dos sensores de temperatura (T1 y T2) los cuales envían las señales de medición a través del picoblade molex J2 de la figura 5, el cual hace viajar la señal por el camino A2→B2→A1. La decisión de no enviar dicha información por el conector J1 radica en que dicho camino lleva a zonas de la placa A1 saturadas en rutas, dificultando la conexión al microcontrolador.

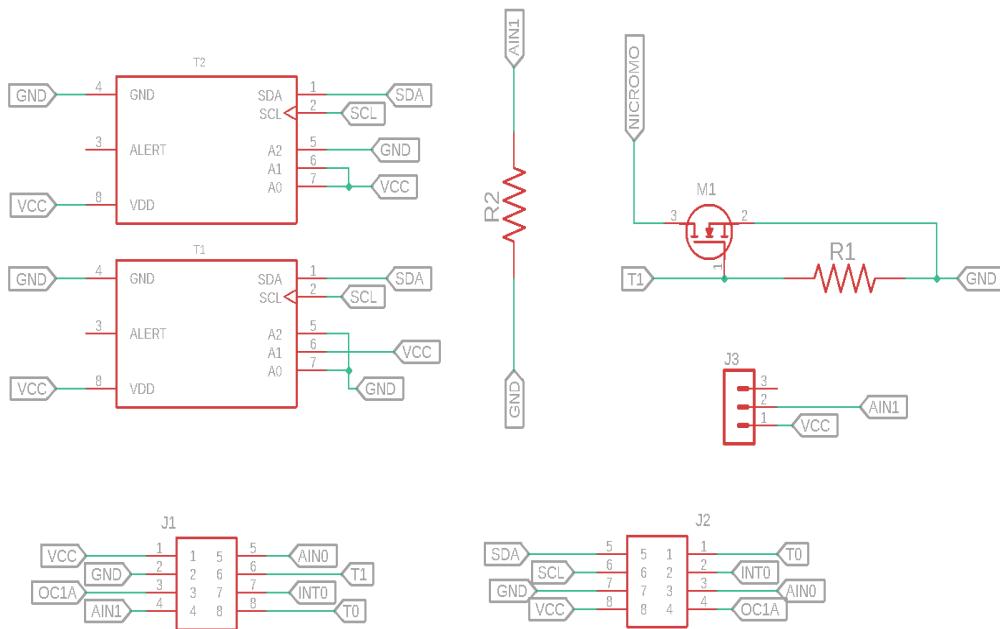


Figura 5: Esquemático del subcircuito B1.

Análogamente, las señales del mosfet y del interruptor de contacto (ida y vuelta en ambos casos) son conectadas al conector J1, el cual las dirige directamente a la placa A1. Es en este mismo conector donde se reciben las señales provenientes del conector J2 de la misma placa, para ser enviadas también a la placa A2.

Por otro lado, el conector J2 es el encargado de recibir las señales del mosfet, interruptor de contacto y de los buses de los sensores de temperatura provenientes desde las placas A2 y B2, respectivamente.

Círcuito A2

Desde el punto de vista eléctrico, esta placa es idéntica a la anterior, con la diferencia que ahora el conector J2 tiene una menor cantidad de pines que el resto de las placas anteriormente descritas. Esto se debe a que la cantidad de señales de otras placas que debe transportar son solamente las provenientes de la placa B2 (bus para los sensores de temperatura y señales del mosfet e interruptor de contacto de dicha placa). El esquemático es el que se puede apreciar en la figura 6 que sigue a continuación.

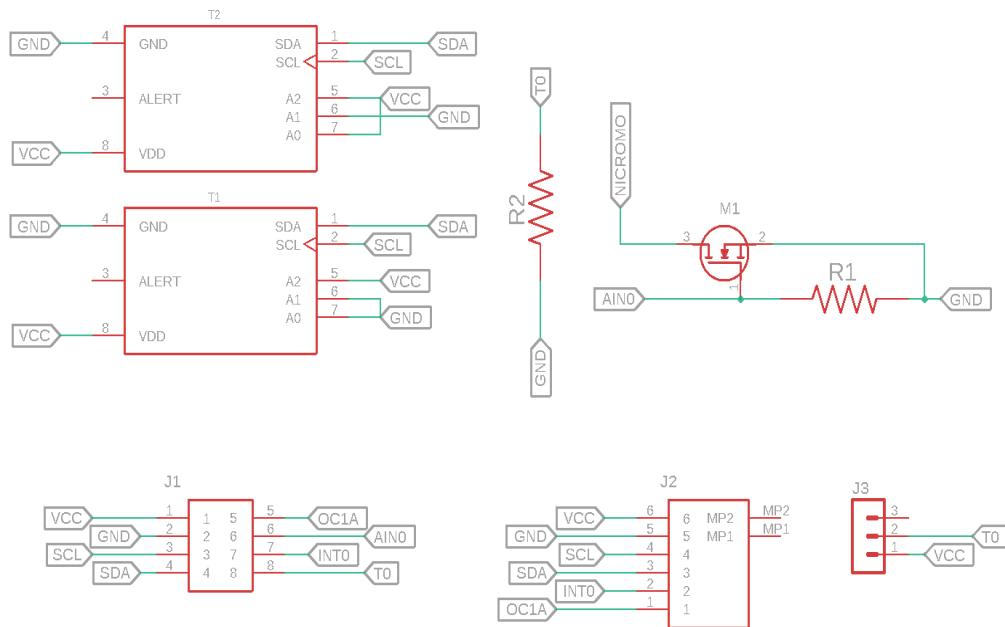


Figura 6: Esquemático del subcristal A2.

De igual manera que en los casos anteriores, el conector J1 de esta placa permite transportar las señales provenientes desde el conector J2, y las señales del mosfet e interruptor de contacto de esta placa, de tal manera que estas puedan llegar a la placa B1, y posteriormente a la placa A1.

Círcuito B2

Similarmente al caso anterior, esta placa tiene exactamente los mismos componentes, con la diferencia de que el conector J2 solo recibe los buses para los sensores de temperatura (SCK y SCL) provenientes desde la placa A1. La gran razón del porqué dejar tan pocas conexiones es debido a que esta placa cuenta con un gran sacado en uno de sus extremos (explicado en el apartado de labores mecánicas), por lo que el espacio limitado de trabajo obliga a requerir la menor cantidad de rutas y conexiones posibles. El esquemático que se obtiene es el que se muestra a continuación en la figura 7

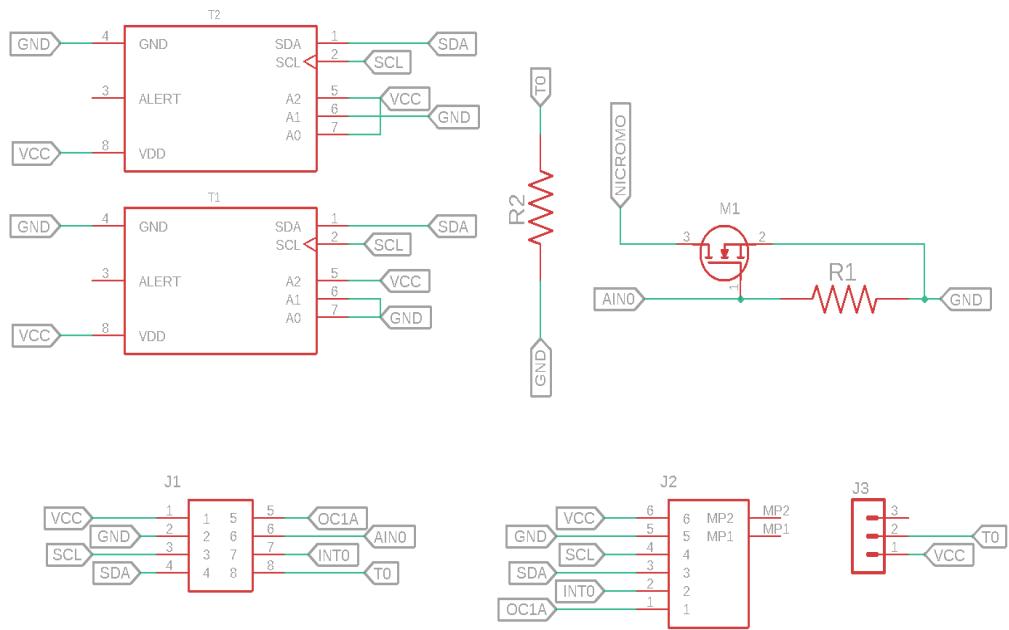


Figura 7: Esquemático del subcircuito B2.

Es importante destacar nuevamente, que el conector J1 cumple el mismo rol que en los casos anteriores, transmitir toda la información de los mosfet y sensores de contacto de la placa hacia la placa A1, no sin antes pasar por el camino A2→B1→A1.

Miniplaca extra

Por razones mecánicas los interruptores de contacto de cada uno de los subcircuitos anteriores deben estar sujetos a soportes perpendiculares a la superficie de las placas donde están impresos. Es por ello que en cada una de las placas anteriores aparece el componente J3, el cual suministra alimentación a los interruptores de contacto y rescata la señal del pin “normalmente abierto” de estos, la cual es utilizada por cada subcircuito para saber si su panel asociado se ha desplegado o no.

Esta miniplaca se puede encontrar en dos versiones: una para un interruptor de contacto TH (componente superior de la figura 8 y la otra para un interruptor de contacto SMD (componente superior de la figura 9). La razón de esto es porque al momento de realizar el presente informe se desconoce cual es el que conviene mas.

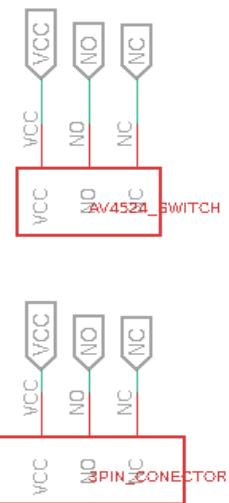


Figura 8: Esquemático de la miniplaca para interruptor de contacto TH.

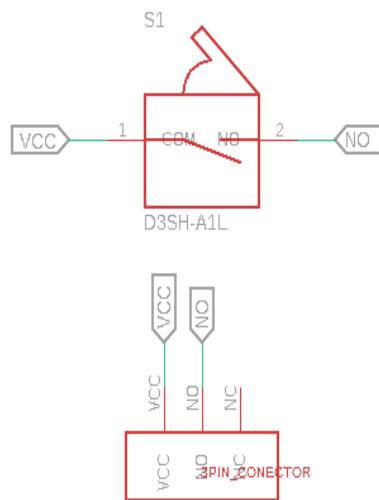


Figura 9: Esquemático de la miniplaca para interruptor de contacto SMD.

De las dos figuras anteriores se observa que el funcionamiento del circuito es básicamente el mismo: si el interruptor de contacto es accionado, se cierra la conexión “normalmente abierta”, dejando pasar la señal de alimentación, mientras que si el interruptor no es accionado, entonces la conexión “normalmente conectada” no se abre, por lo que deja pasar la señal de alimentación. En cualquier caso, el pin “normalmente conectado” del interruptor no se encuentra conectado a ningún elemento o parte del circuito, por lo que es irrelevante saber si por este fluye una señal o no.

3.1.3. Protocolo de comunicación para sensores de temperatura

Una gran dificultad que se puede encontrar a la hora de escoger sensores de temperatura es el tipo de comunicación que estos poseen. Naturalmente, se podría razonar que es recomendable elegir el protocolo SPI debido a su gran velocidad de envío de información. No obstante, la gran desventaja que esto conlleva es que se requieren cuatro puertos de comunicación, lo cual para efectos de

este trabajo es inviable debido al limitado espacio de ruteo que se tiene en algunas placas (A1 por ejemplo), es por este motivo que se prefirió la utilización de una comunicación i2C, que si bien es mas lenta, usa solamente dos puertos de comunicación, y evita la saturación de rutas en las placas [2].

Puesto que las señales i2C son las mismas para los sensores de temperatura T1 y T2 de cada una de las placas se debe buscar alguna manera de distinguir la información proveniente de cada uno de ellos. Para ello, se conecta selectivamente los pines A0, A1 y A2 de cada sensor a tierra (0 lógico) o a 5V (1 lógico), esto con el fin de asignar un número binario único a cada uno de ellos, y así lograr la distinción de la procedencia de la información de monitoreo de temperatura. En la tabla 1 que sigue a continuación se muestra la asignación de código binario que se aplico a cada sensor de temperatura.

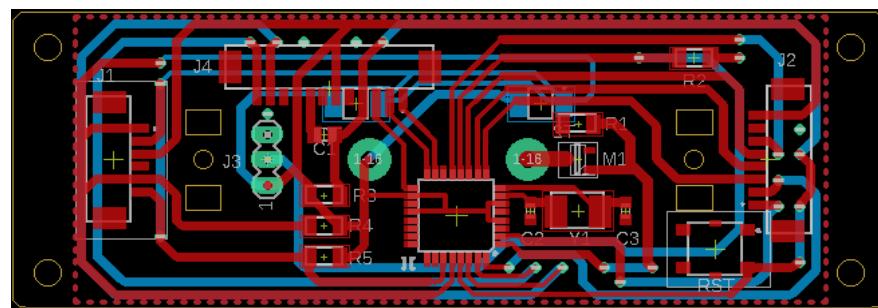
Tabla 1: Asignación de número binario para la identificación de los sensores de temperatura.

		Pin A0	Pin A1	Pin A2
Placa A1	Sensor T1	0	0	0
	Sensor T2	1	0	0
Placa B1	Sensor T1	0	1	0
	Sensor T2	1	1	0
Placa A2	Sensor T1	0	0	1
	Sensor T2	1	0	1
Placa B2	Sensor T1	0	1	1
	Sensor T2	1	1	1

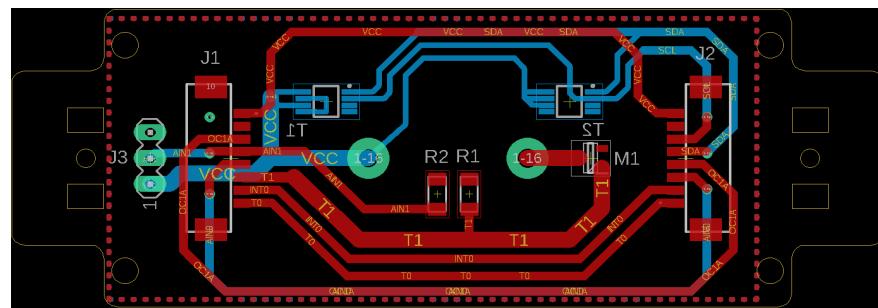
3.1.4. Placas Obtenidas

Tras verificar que cada uno de los dispositivos a utilizar [3] se encontrasen disponibles en el mercado con sus respectivos sus esquemáticos y footprints (de estos últimos algunos tuvieron que ser creados desde 0), y considerando las consideraciones mecánicas descritas en el resto de este trabajo, se pudo proceder a la elaboración de las placas de circuito impreso. En particular, los resultados obtenidos para las placas A1, B1, A2 y B2 son los que se muestran respectivamente en la figura 10.

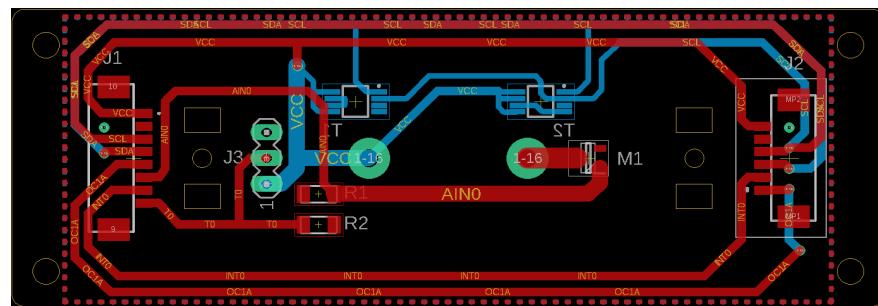
En todas las placas destacan las mismas consideraciones que se deben tener en cuenta a la hora de su elaboración [4]. En primer lugar, las rutas deben evitar tener ángulos rectos para no crear puntos de acumulación de calor, por lo que estas deben cambiar su dirección siempre de forma diagonal. En segundo lugar, el ancho de las rutas (incluyendo el factor de seguridad) debe ser calculado con [5] para que la corriente pueda fluir sin obstrucciones, las cuales en este caso tienen 0.5mm para las conexiones de los dispositivos con pads mas pequeños, 0.8mm para las rutas largas, y 1.5mm para las rutas que transportan la corriente proveniente del nicromo. Por último, pero no menos importante, se debe considerar que cada una de las rutas esté lo suficientemente alejada de los agujeros de la placa, para evitar cualquier cortocircuito no deseado con alguna pieza metálica.



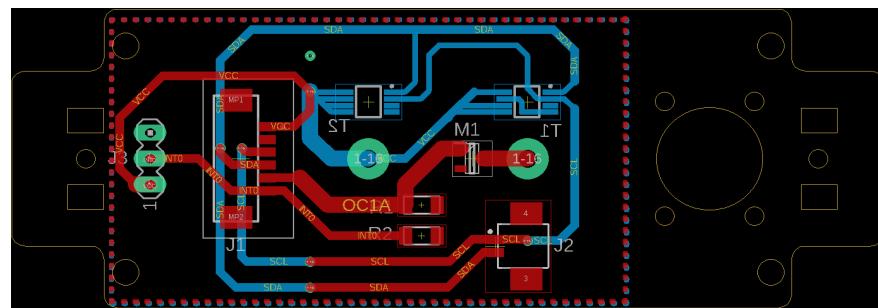
(a) PCB del subcircuito A1.



(b) PCB del subcircuito B1.



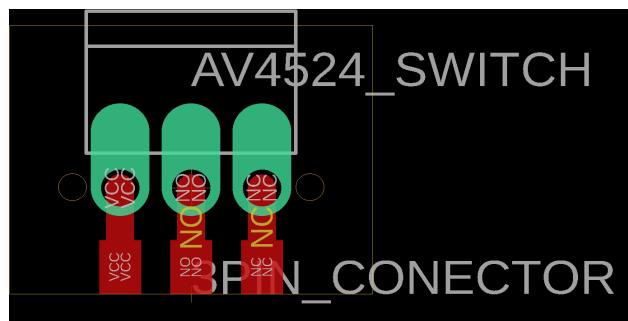
(c) PCB del subcircuito A2.



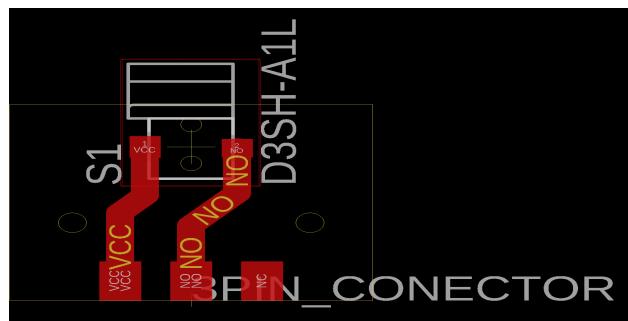
(d) PCB del subcircuito B2.

Figura 10: Board elaborado para cada uno de los subcircuitos.

Un resultado similar se tiene para las miniplacas de la figura 11, cuyos componentes deben ser ubicados en posiciones específicas, ya que deben estar en contacto perfecto con los paneles cuando estos están cerrados.



(a) PCB de la miniplaca con switch TH.



(b) PCB de la miniplaca con switch SMD.

Figura 11: Board elaboradas para las dos versiones de las miniplacas.

Mayor detalle de las interconexiones entre las placas, librerías usadas, y listado de pines utilizados para el microcontrolador se pueden encontrar en los archivos del repositorio [6].

3.2. Labores mecánicas

Dentro de las tareas, en el ámbito mecánico, asignadas a la estudiante se encuentran la revisión de las especificaciones técnicas de diseño para un CubeSat, modificar y añadir componentes acordes a los requerimientos a las placas ya existentes, como también crear una placa de tamaño pequeño tendrá el circuito de un interruptor, diseñar soportes para los paneles de despliegue y, por último, apoyar en las labores eléctricas de diseño de los distintos esquemáticos y boards, entre otros. A continuación, se muestra una descripción más detallada de las labores realizadas.

3.2.1. Especificaciones técnicas

Las especificaciones técnicas, tanto eléctricas como mecánicas, entregan datos sobre el diseño, fabricación y pruebas a las que son sometidos los nanosatélites. Para un CubeSat de 3 unidades se tienen los siguientes requerimientos mecánicos principales, los cuales deben cumplirse para efectuar su lanzamiento [7]:

- Para la estructura principal, y los rieles de despliegue, se sugiere utilizar cuatro aleaciones de aluminio. Específicamente las aleaciones 7075, 6061, 5005 y 5052.
- La masa máxima no debe superar los 4 kg.
- Sus dimensiones deben ser $10 \times 10 \times 34,5 \text{ cm}^3$
- Ningún componente o protuberancia puede exceder los 6.5 mm normal a la superficie o interferir con los rieles de despliegue.
- La tolerancia de las dimensiones es de $\pm 0,1$.

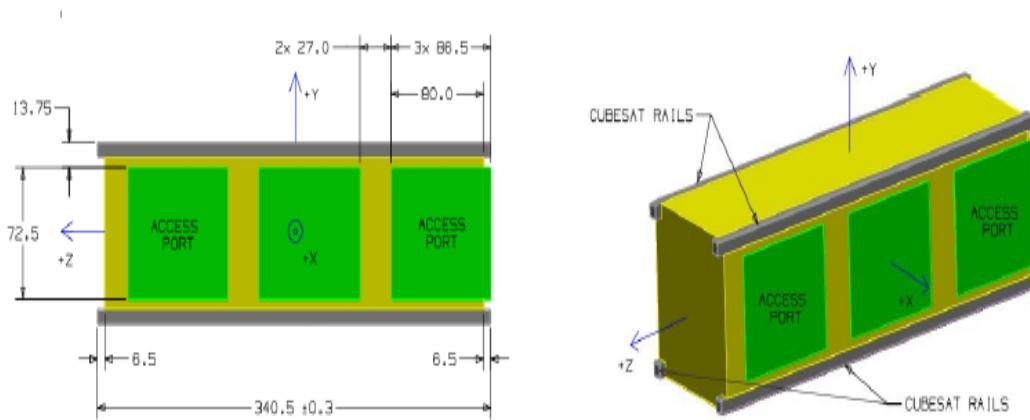


Figura 12: Dimensiones para cara lateral y vista en 3D de un CubeSat 3U.

Para efectos del proyecto, el requerimiento más importante esta relacionado con la limitación de la distancia máxima sobre la superficie, ya que esto afecta directamente en el diseño de cualquier componente o pieza que se quiera crear.

3.2.2. Especificaciones de las placas

Existen tres tipos distintos de placas, la de tipo A, B1 y B2, las cuales se muestran en las figuras 13, 14 y 15, respectivamente. Las modificaciones a las que se vieron sometidas las placas existentes yacen en la realización de agujeros y vaciados, de manera pasante, en su superficie, las cuales se repiten en cada una de ellas, cumpliendo la misma función.

Las placas poseen un dimensión máxima de $82,5 \times 29 \times 1,04 \text{ mm}^3$. Las de tipo A tienen una forma rectangular, mientras que las del tipo B son en forma parecida a una cruceta.

Los agujeros de las esquinas, de 2,5 mm de diámetro, están ligados a los distintos tornillos que están a cargo de la sujeción de las placas a la estructura principal. Con respecto a los vaciados que se encuentran a 18 mm de ambos extremos en la placa A, a 7 mm en la del tipo B1 y a 7 y 6,25 mm en la placa B2, estos cumplen con los requerimientos del soporte para los paneles de despliegue. Estos vaciados corresponden a un agujero de 1,8 mm de diámetro y dos vaciados de forma rectangular de dimensiones de $3 \times 4 \text{ mm}^2$. Por último, los agujeros ubicados en la mitad de las placas, de 1,8 mm de diámetro, corresponden a los tornillos que sostendrán al nicromo.

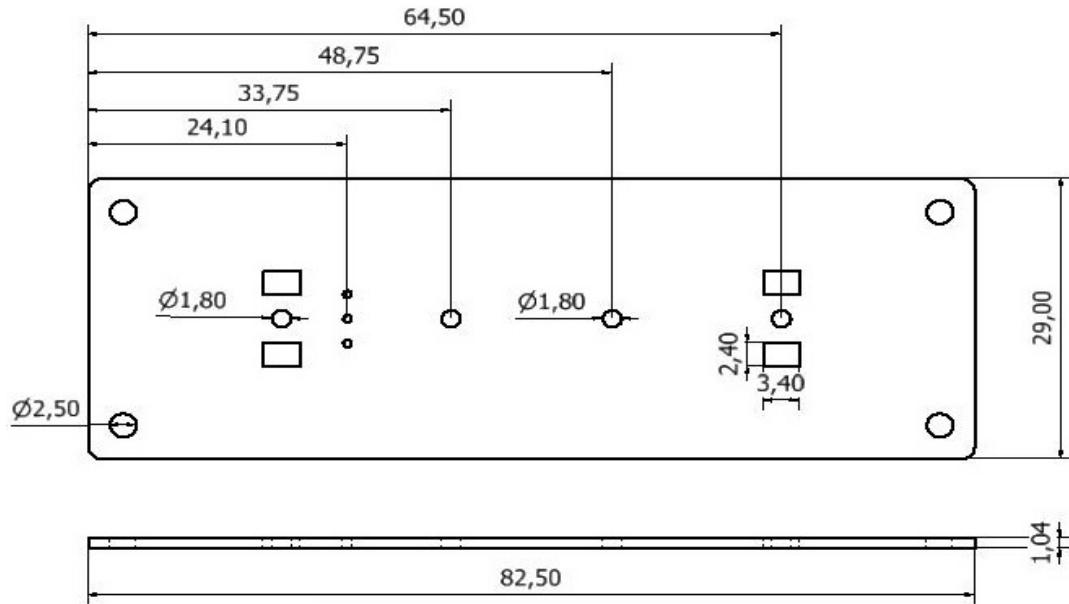


Figura 13: Dimensiones para la placa del tipo A (A1 y A2).

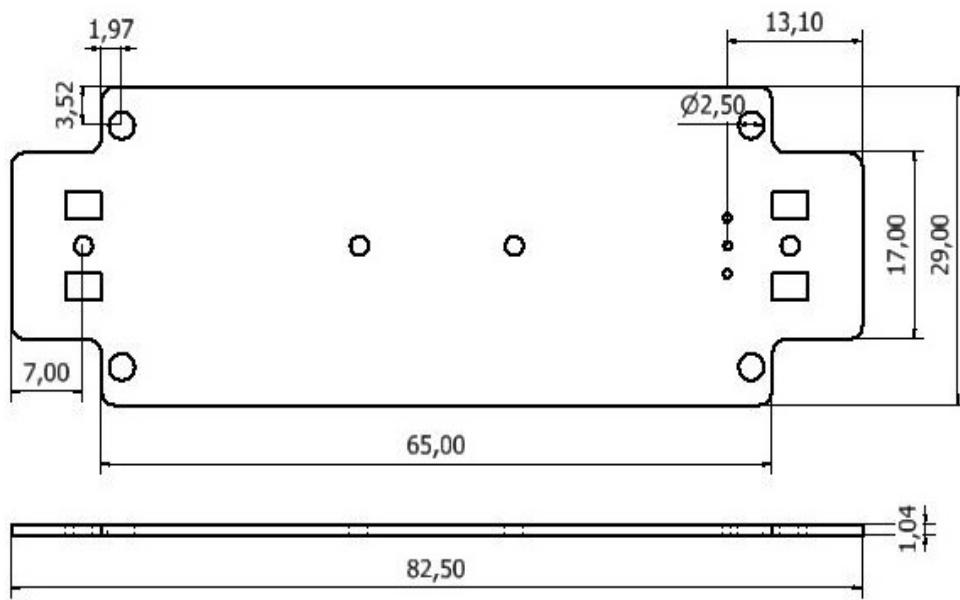


Figura 14: Dimensiones para la placa B1.

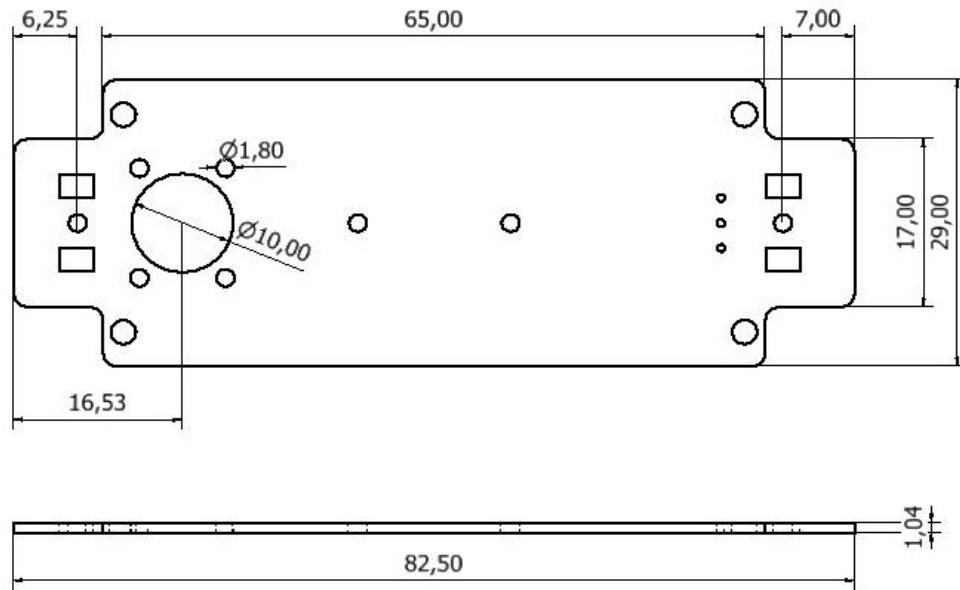


Figura 15: Dimensiones para la placa B2.

Con respecto a la placa pequeña, esta se muestra en la figura 16 y consta de una dimensión de 10,6x13x1,6 mm³. Tiene dos agujeros, de 1,8 mm de diámetro y pasantes, que se encuentran en una cara lateral. La función de la placa es contener el circuito del interruptor, el cual está encargado de detectar la apertura de los paneles de despliegue.

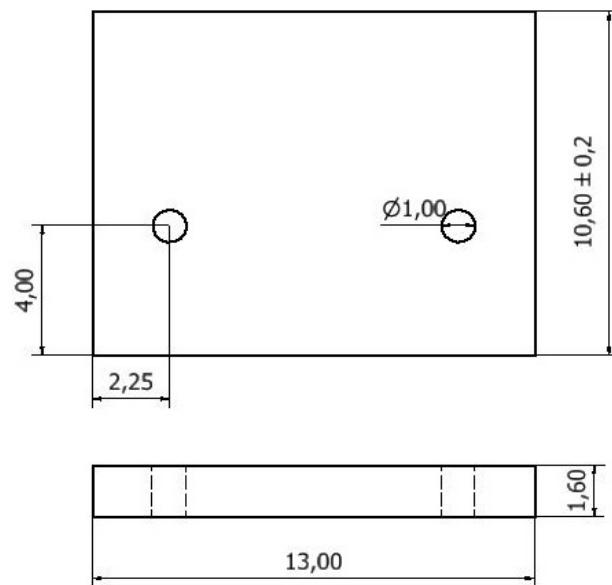


Figura 16: Dimensiones para la placa pequeña de cobre.

3.2.3. Determinar superficie útil de las caras exteriores de las placas

Debido a que las placas están unidas a la estructura principal, la cara de las placas que está orientada hacia el exterior no cuenta con su totalidad de su superficie para ser ocupada con componentes o piezas, por lo que es necesario determinar la superficie útil efectiva que poseen estas caras. En las imágenes que se muestran a continuación, se tienen ensambladas a la estructura principal a las placas de tipo A y B2, respectivamente.

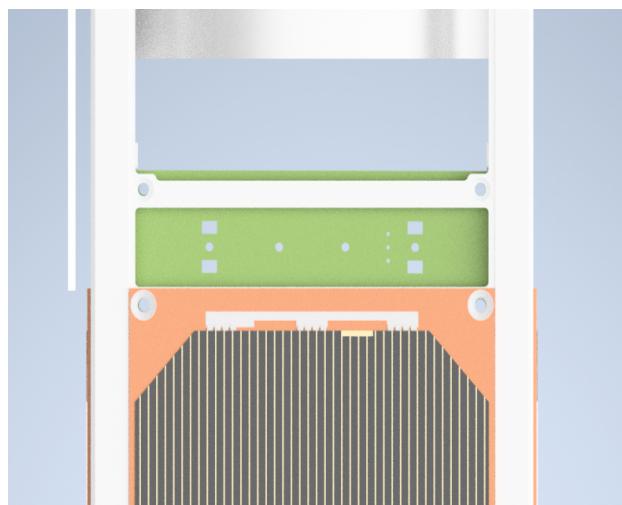


Figura 17: Vista frontal de la placa A ensamblada a la estructura principal.

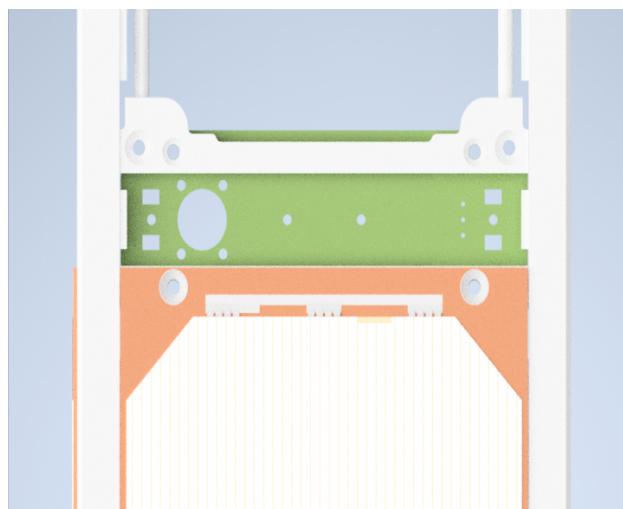


Figura 18: Vista frontal de la placa B2 ensamblada a la estructura principal.

Para las placas de tipo A y B2 (y por asociación B1, ya que sus dimensiones coinciden) se tiene como superficie efectiva al espacio rectangular ubicado al centro del conjunto y corresponde a una superficie de $80 \times 15,1 \text{ cm}^2$. Es este espacio el considerado para diseñar y ensamblar cualquier pieza o componente que deba ser posicionado en esta cara de las placas.

3.2.4. Soportes para paneles de despliegue

Para evitar que los paneles de despliegue choquen con la estructura, se crea unos soportes de plástico, los cuales están ubicados en cada uno de los extremos de las placas. Su forma, la que se puede ver en la figura 19 es la de un prisma rectangular y sus dimensiones, sin contar a las protuberancias que se incrustan en las placas, es de $8,5 \times 13 \times 10,6 \text{ mm}^3$, teniendo la altura precisa para que los paneles de despliegue descansen la cara superior de los soportes cuando se encuentren cerrados.

El soporte posee tres agujeros de tipo pasante, uno en su cara superior de diámetro interno de 1,8 mm y externo de 4 mm, al que le corresponde el tornillo que une el soporte a la placa. El agujero del diámetro mayor tiene una longitud de 7,6 mm, mientras que el del diámetro menor posee un largo de 4 mm. Estas longitudes se deben a que se quería evitar la fragilidad del área de contacto del soporte de la placa y a la imposibilidad de que el tornillo estuviera en gran parte dentro del soporte, por lo que se optó por las medidas anteriormente dichas. Los otros dos agujeros restantes tienen un diámetro de 1,8 mm y coinciden con aquellos que se encuentran en la placa pequeña de cobre, mencionada anteriormente, ya que estas estarán unidas a través de una de sus caras frontales.

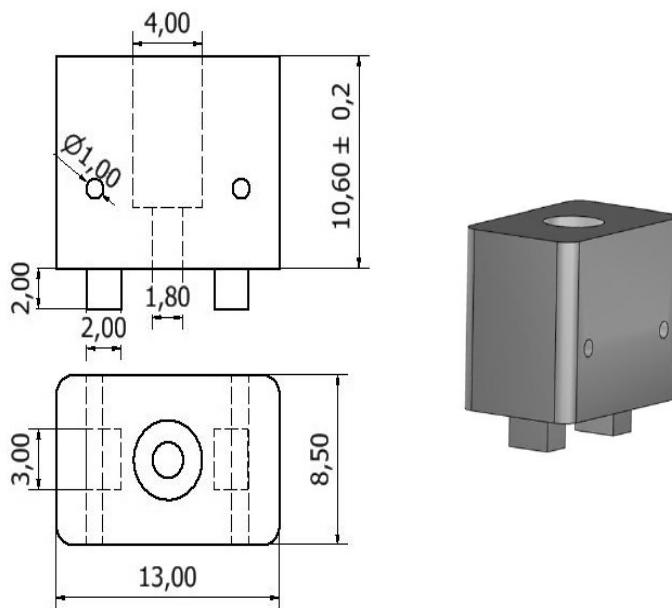


Figura 19: Dimensiones y vista 3D para soporte.

3.2.5. Componentes utilizados en las placas [8]

A continuación, se muestra en detalle los componentes, tornillos, tuerca y golillas, utilizados en cada uno de las placas:

M1,6 X 8mm Torx Pan Head Screws (ISO 14583)

Este tornillo es utilizado tanto para sostener el sistema del nicromo, en el centro de la placa, como también, para sujetar los soportes del panel de despliegue a la superficie. Algunas de sus especificaciones técnicas se muestran en la tabla 2 que sigue a continuación.

Tabla 2: Especificaciones técnicas del tornillo.

Diámetro de la cabeza [mm]	Espesor de la cabeza [mm]	Material	Tipo de rosca	Longitud del vástago [mm]	Paso de rosca [mm]	Diámetro nominal [mm]
3,2	1,42	A2 - Acero inoxidable	Métrica	8	0,35	1,6

La elección de este tornillo recae en sus dimensiones. Producto de la escala milimétrica de los componentes que se trabajan para la placa, el tornillo tiene que ser de dimensiones pequeñas. Posee un diámetro de hilo de 1,6 mm, siendo este el menor diámetro nominal disponible en los lugares de compra cotizados. Sin embargo, es la longitud de hilo el factor diferenciador entre los distintos tornillos M1,6 existentes, ya que debido a la función que este tornillo cumple dentro de la placa, es necesaria una longitud en particular. Dicha función es la de sostener el sistema del nicromo, el cual, como es posible de ver en la figura 20, ocupa una longitud importante. Este sistema consiste en el ensamblaje del tornillo con dos tuercas y dos golillas, las cuales se mencionan más adelante, teniendo

un conjunto tuerca-golilla a cada lado de la placa y dejando 2 mm de hilo libre por precaución. Se deja, en la cara de la placa que apunta hacia el exterior, una distancia de 1 mm entre la cabeza del tornillo y tuerca. Es en este espacio donde esta ubicado el nicromo enrollado, ya que si se dejara a una distancia cercana a la placa se correría el riesgo de quemarla producto del calor que emana el nicromo.

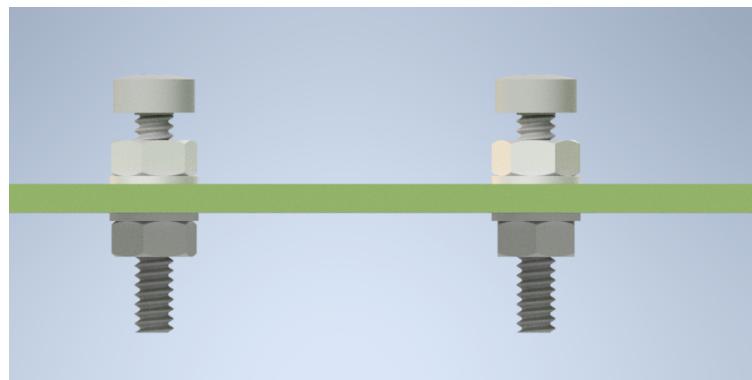


Figura 20: Sistema tornillo-golilla-tuerca para el nicromo.

Además, para el sistema del soporte de despliegue (figura 21), se tiene que por las dimensiones del soporte, de la tuerca y la golilla, el tornillo de 8 mm funciona de buena forma en el conjunto, por lo que no hubo necesidad de encontrar otro tornillo con diferentes dimensiones.

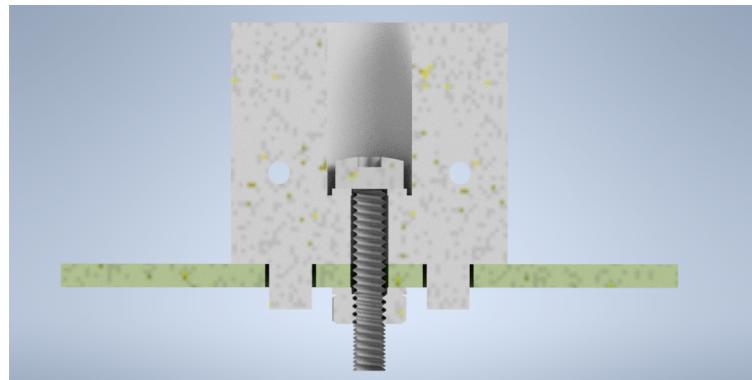


Figura 21: Tornillo correspondiente al soporte de despliegue.

M1,6 Hexagon Nuts (DIN 934)

Se escoge la tuerca en función del tornillo, teniendo en cuenta, además, que el ancho de la tuerca no debe ser de un gran valor, esto es para evitar cualquier inconveniente con las rutas o componentes del circuito. A continuación en la tabla 3 se detallan las características de la tuerca.

Tabla 3: Especificaciones técnicas de la tuerca.

Espesor de la tuerca [mm]	Ancho máximo de la tuerca [mm]	Ancho mínimo de la tuerca [mm]	Material	Tipo de rosca	Paso de rosca [mm]
1,05 - 1,3	3,41	3,02 - 3,2	A1/A2 - Acero inoxidable	Métrica	0,35

M1.6 Reduced Diameter Flat Washers (DIN 433)

La golilla es escogida siguiendo los mismos argumentos que la elección de la tuerca. En la tabla 4 que sigue a continuación se presentan sus características.

Tabla 4: Especificaciones técnicas de la golilla.

Diámetro externo [mm]	Diámetro interno [mm]	Material	Tipo de rosca	Espesor [mm]
3,5	1,7	A1/A2 - Acero inoxidable	Métrica	0,3

Por último, con respecto al tipo de componentes y la cantidad de ellos usada cada placa, se construye la tabla 5 que sigue a continuación.

Tabla 5: Tipo de componente y cantidad usada en cada placa.

Componente	Placa A1	Placa B1	Placa A2	Placa B2
Tornillo M1,6 x 8mm	4	4	4	4
Tuerca hexagonal M1,6	6	6	6	6
Golilla plana M1,6	8	8	8	8

3.2.6. Soporte para cámara

El PlantSat tiene incorporado un módulo de cámara Raspberry Pi V2, la cual tiene como función grabar cuando el nanosatélite esté en su respectiva órbita y con los paneles de despliegue ya abiertos. Debido a que se necesita cierto ángulo de inclinación y que la cámara no puede estar instalada por si sola, se tiene la necesidad de diseñar un soporte que la sostenga.

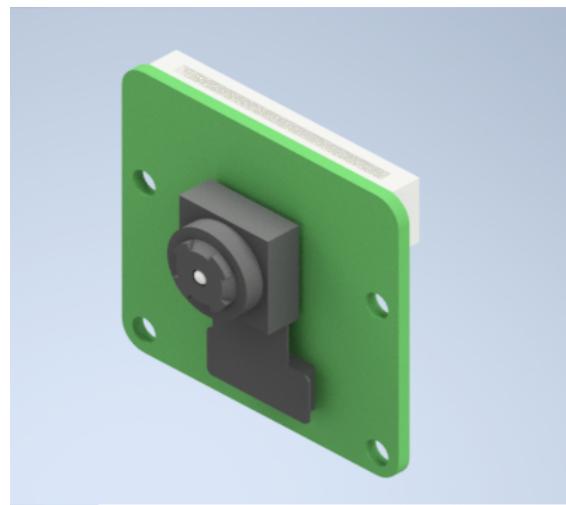


Figura 22: Módulo de cámara Raspberry Pi V2.

Las posiciones en donde dicho soporte puede ser ensamblado son limitados. Se desea ocupar los espacios libres que el nanosatélite pueda disponer y, además, ser lo menos invasivo posible, aprovechando cada componente que pueda servir. Es por esto que se tienen dos posiciones como posibles lugares en donde la cámara pueda ir ensamblada, estos se muestran en las figuras 23a y 23b, encerrados por un rectángulo rojo, a continuación:

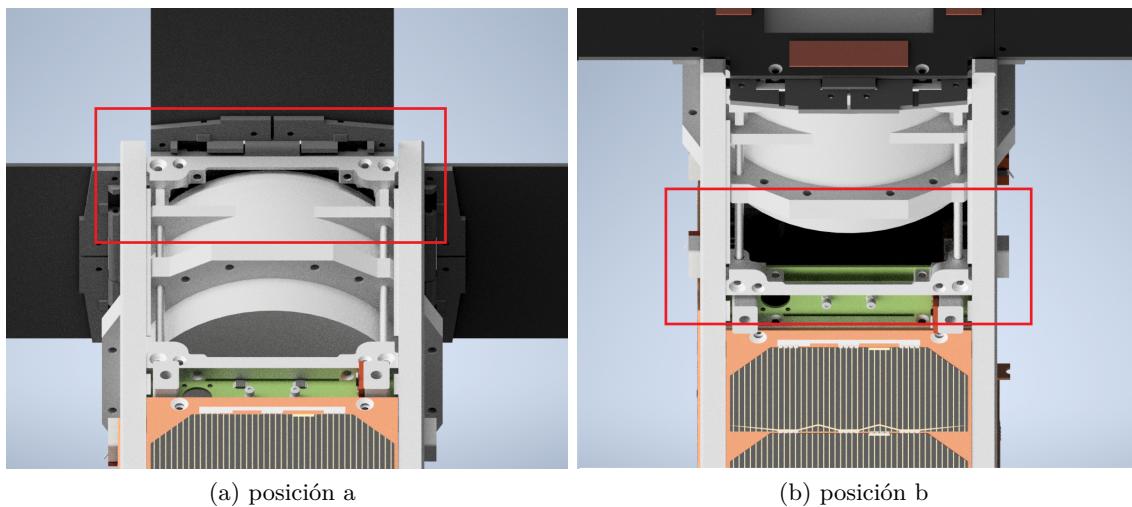


Figura 23: Posibles posiciones para implementar soporte de cámara.

La principal razón por la cual estas posiciones fueron elegidas se debe a que se quiere aprovechar el espacio que deja el tambor en forma de cilindro ensamblado dentro de una estructura cúbica. Además, si se observan las imágenes, se puede notar que la estructura tiene orificios para tornillos, por lo que se pueden usar aquellos para afirmar el soporte, sin necesidad de modificar la estructura.

A pesar de que la posición a tiene un mejor ángulo de visión hacia el exterior, se decide utilizar la posición b, ya que esta posee una mayor cantidad de espacio libre para poder diseñar el soporte. Como primera versión se decide crear un soporte con un ángulo de inclinación fijo de 20 grados. El soporte es ensamblado a la estructura principal a través de los tres agujeros para tornillos ubicados en la esquina, dos ubicados en la parte lateral y uno en la parte frontal (pasante) de una barra horizontal de la estructura principal. Para evitar que el soporte se vea invasivo, se decide hacer la conexión a los dos tornillos laterales por la parte interior del nanosatélite. Para sostener a la cámara, se realizan 4 agujeros pasantes de 2,1 mm de diámetro, coincidentes con los que posee el módulo, en los que se atravesarán tornillos. Las dimensiones, la forma del soporte y el montaje completo en la posición elegida se pueden observar en las figuras 24, 25 y 26, respectivamente.

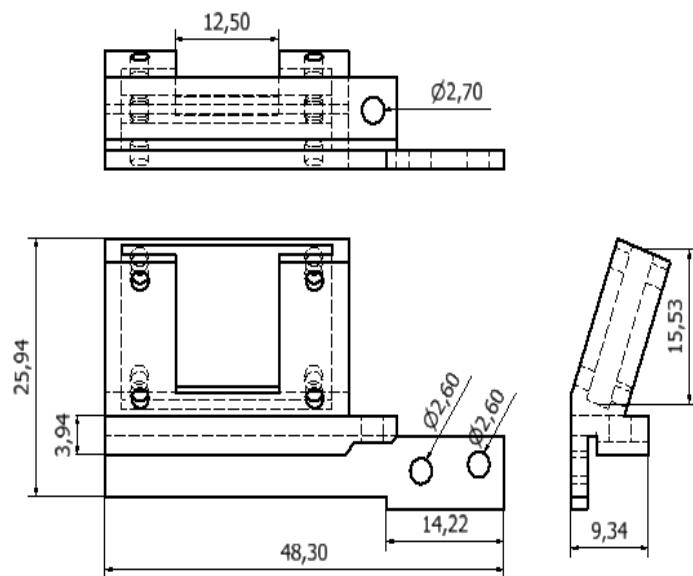


Figura 24: Dimensiones del soporte para la cámara.

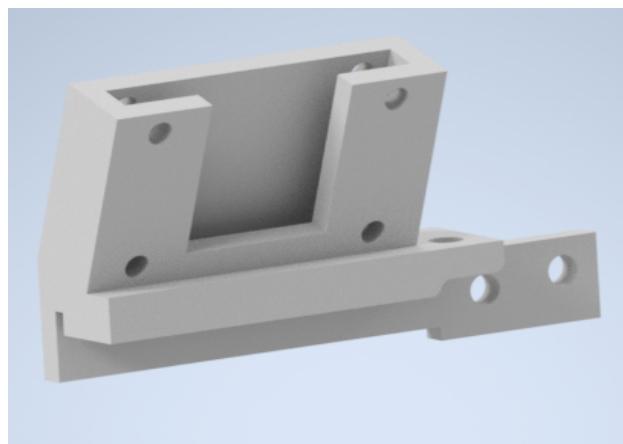


Figura 25: Vista 3D del soporte para la cámara.

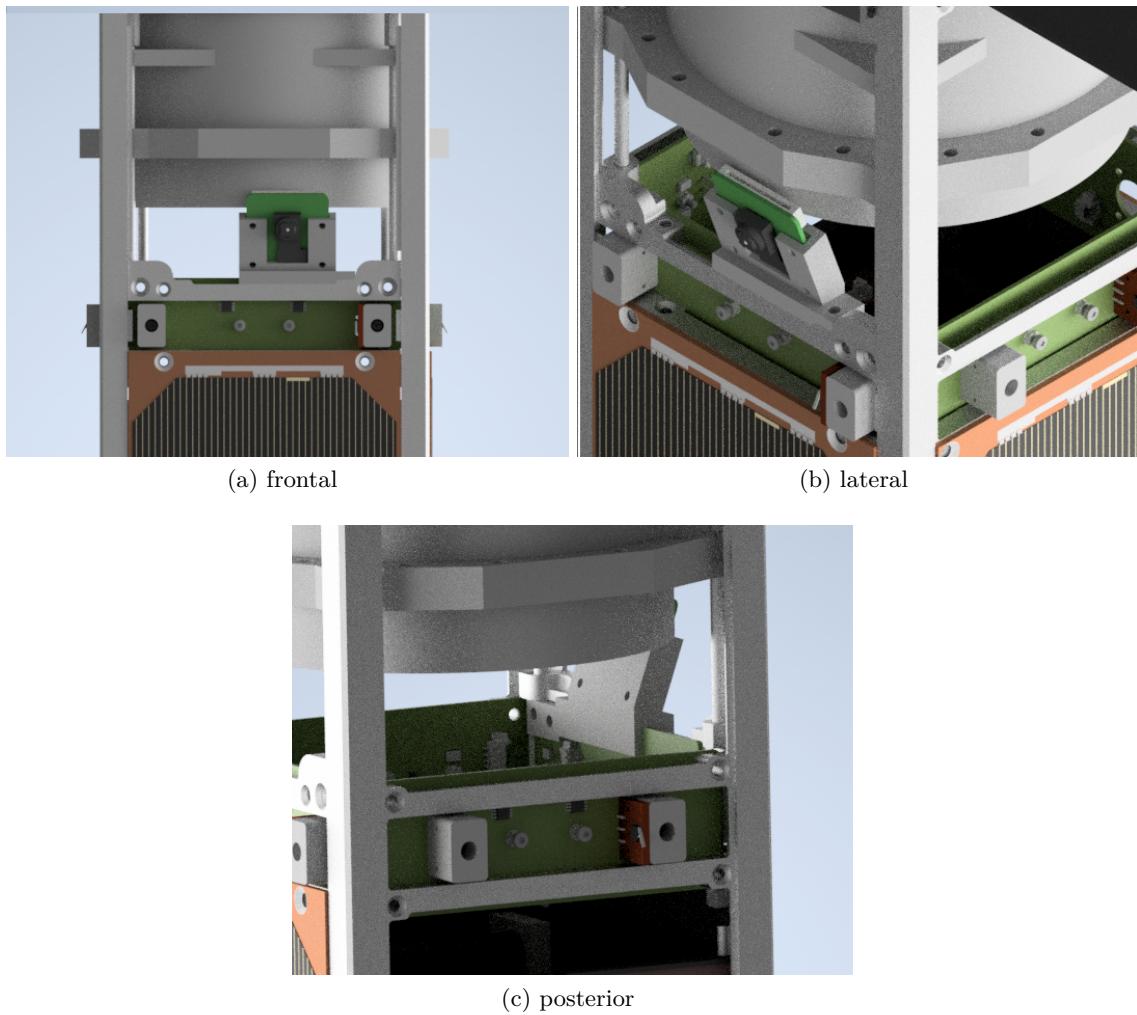


Figura 26: Múltiples vistas del soporte de la cámara implementado.

Como se dijo anteriormente, esta es una versión preliminar. Entre los principales problemas a corregir se encuentran su gran tamaño, que posee un ángulo de inclinación fijo y que, además, tiene detalles en su diseño que, debido a sus pequeñas dimensiones, podrían dificultar su fabricación.

4. Conclusión

A través de este informe, se puede decir que el objetivo general del proyecto se cumplió parcialmente, ya que se logra diseñar un circuito reducido para la activación de los paneles de despliegue del nanosatélite PlantSat.

Como aprendizajes obtenidos mediante la realización de las distintas tareas asignadas al equipo de trabajo, se encuentran, en primer lugar, la comprensión del funcionamiento y especificaciones técnicas de diseño de un CubeSat. También, la familiarización con distintos programas de diseño de circuitos y de fabricación digital, como lo son Eagle e Inventor, respectivamente. Además, se profundizan los conocimientos de circuitos y electrónica a través de la búsqueda y comprensión del funcionamiento de los distintos componentes usados a la hora de diseñar el circuito.

Con respecto a las dificultades encontradas en la realización del proyecto, estas yacen en la definición de los pines del Atmega en donde se conectarían las señales de los sensores de temperatura, para lo cual se optó por comunicación I2C y, también, en la elección del tipo de interruptor que se utilizaría (TH o SMD) para detectar la activación de los paneles de despliegue, ya que debido al limitado espacio que se contaba para la instalación del componente, era necesario un interruptor de dimensiones pequeñas, capaz de adecuarse a la mini placa diseñada, producto de esto, se decidió finalmente utilizar el interruptor SMD. Además, el uso del nicromo y las conexiones necesarias para su correcto funcionamiento ocasionaron problemas a la hora de realizar los circuitos en las placas, los cuales fueron corregidos a través de la retroalimentación proporcionada por el profesor guía.

Como se dijo anteriormente, el objetivo del proyecto se cumplió parcialmente, ya que actualmente se solo se completo el diseño del circuito y las distintas piezas requeridas, por lo que es necesario proseguir con las labores de construcción y de programación. Para que lo anterior sea posible, se debe fabricar las distintas placas y, luego, soldar los componentes TH y SMD a ellas. Posteriormente el circuito ya soldado tiene que pasar a través de una serie de testeos para verificar su correcto funcionamiento. Lo anterior también es válido para las piezas creadas, es decir, el soporte de los paneles de despliegue y del módulo de la cámara, ya que deben ser fabricadas y testeadas, y así proponer mejoras, si ese es el caso. Una vez pasada esa etapa, se pasa a programar el microcontrolador para, finalmente, realizar las pruebas finales.

Referencias

- [1] AVR042: AVR Hardware Design Considerations. 2016. Atmel. [en línea] http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/Atmel-2521-AVR-Hardware-Design-Considerations_ApplicationNote_AVR042.pdf [consultado: 20 de agosto de 2020]
- [2] LLamas, L. 2020. El Bus I2C en Arduino. [en línea] <https://www.luisllamas.es/arduino-i2c/> [consultado: 20 de agosto de 2020]
- [3] Benavides, D., Chasco, J. Componentes. 2020. Hoja de Cálculo. <https://docs.google.com/spreadsheets/d/1PCbfYga0iEj8wYyukpZCw7zqY2N1ruvzxEyW0vPxFgU/edit?usp=sharing>
- [4] Becerra, A. 2020. Elaboración de PCBs. Presentación, SPEL, Universidad de Chile. <https://drive.google.com/file/d/1pAzu9JgxTS207pVMYjwa5NAEI1S-SyQW/view?usp=sharing>
- [5] PCB Trace Width Calculator. 2020. [en línea] <https://www.digikey.com/en/resources/conversion-calculators/conversion-calculator-pcb-trace-width> [consultado: 20 de agosto de 2020]
- [6] Benavides D., Chasco J. Obreque E. “Deployment System”. 2020. SPEL GitHub Repository. <https://github.com/spel-uchile/DeploymentSystem-EL>
- [7] CDS, CubeSat Design Specification. Rev 13. California Polytechnic State University. 2015
- [8] Benavides, D., Chasco, J. Lista de Componentes Mecánicos. 2020. Hoja de Cálculo. https://drive.google.com/file/d/1kyRFQtMSXTU701F-Em2NVrToYDH_C0W-/view?usp=sharing