

DESARROLLO DE UNA TARJETA DE AMPLIFICACIÓN DE SEÑAL PARA TERMOCUPLAS TIPO K APLICADA A LA CARACTERIZACIÓN TERMODINÁMICA DEL MOTOR DEL COHETE SONDA ULA

PARCO^{1*} María Alejandra, Leonardo LACRUZ¹, José Fernando PEREZ²,
Vicente MARCANO^{1,3}, Pedro BENÍTEZ^{1,3}, John FERREIRA¹, Carlos LA ROSA^{1,3}
<parcomaria@ula.ve>

¹ Comisión Rectoral para el Programa de Ciencias Espaciales, Edif. CIAE-TELMAG,

² Laboratorio de Instrumentación Científica, Facultad de Ciencias, Universidad de Los Andes

³ Grupo de Ciencias Atmosféricas y del Espacio, Universidad de Los Andes Mérida 5101, Venezuela

RESUMEN

Para llevar a cabo la caracterización termodinámica del motor de un cohete de combustible sólido, se debe determinar los cambios de temperatura en función del tiempo en diferentes puntos a lo largo de los componentes del motor, es decir, en la cámara de combustión y la tobera. Uno de los métodos de medición de temperatura más aceptados en la actualidad en la experimentación de motores de cohetes es la medición con termocuplas. En el presente estudio se propone la caracterización termodinámica del motor de un cohete sonda ULA-1B utilizando termocuplas tipo K. Para ello se hace necesario el uso de una tarjeta de amplificación de la señal que proviene de las termocuplas, ya que el voltaje emitido por estas es muy bajo para ser procesado por el sistema registrador y almacenador de datos. La importancia de este estudio radica en que permite obtener mayor información acerca del desempeño del motor del cohete, ya que al relacionar los valores de temperatura con los valores de presión en diferentes puntos a lo largo del motor, se puede conocer la temperatura del combustible, la cual influye directamente en la velocidad de quemado del motor. Asimismo, se puede determinar el estado de los gases producto de la combustión y finalmente estimar la fuerza de empuje. Esto permite precisar los criterios para el diseño de nuevos motores, haciendo posible que los cohetes serie ULA alcancen mayores alturas y como consecuencia permitan lograr el objetivo principal del Proyecto Cohetes Sonda ULA, el cual es colocar un nano-satélite en órbita baja.

Palabras claves: cohetes, combustible sólido, medición de temperaturas, termocuplas tipo K.

DEVELOPMENT OF A SIGNAL AMPLIFICATOR CARD FOR TYPE K THERMOCOUPLES APPLIED TO THE THERMODYNAMIC CHARACTERIZATION OF A PROBE ROCKET ULA ENGINE

ABSTRACT

In order to perform the thermodynamic characterization of a solid propellant rocket engine, it is necessary to determine the changes of temperature versus time in different points along the components of the engine, *e.g.* combustion chamber and nozzle. Currently, one of the most accepted methods to measure temperature in rocket engines is the measurement with thermocouples. In the present study, the thermodynamic characterization of the ULA-1B rocket engine using a type K thermocouple is proposed. For this purpose it is necessary to employ an amplification system, which will amplify the signal coming from the thermocouples, due to the low voltage that this instrument emits and that cannot be processed as such by the data logger. The importance of this study lies on the amount of information that can be obtained concerning the performance of the rocket engine; when combining the values of temperature with the values of pressure in different points across the engine, it will be possible to establish the temperature of the propellant, which influences directly on the burning rate; also, it will be possible to establish the state of the combustion gases, and ultimately the thrust can be estimated. This data will allow to improve the criteria for designing new engines, and will make possible for the ULA rockets to reach higher altitudes, therefore the principal goal of the ULA Probe Rocket Project can be accomplished, which is to locate a nano-satellite in a low orbit.

Key words: rockets, solid propellant, temperature measure, type K thermocouples.

Ficha

PARCO María; Alejandra, Leonardo LACRUZ; José Fernando PEREZ; Vicente MARCANO; Pedro BENÍTEZ; John FERREIRA & Carlos LA ROSA, 2010.- Desarrollo de una Tarjeta de Amplificación de Señal Para Termocuplas Tipo K Aplicada a la Caracterización Termodinámica del Motor del Cohete Sonda ULA. ADV. MAT. SCI. & TECH. N15:23-29

INTRODUCCIÓN

En el año 2005, fue creada la Comisión Rectoral Para el Programa de Ciencias Espaciales de La Universidad de Los Andes, cuya finalidad es impulsar una serie de proyectos dirigidos al desarrollo de las ciencias espaciales con fines pacíficos en nuestro país. Entre estos proyectos, destaca el Proyecto Institucional Cohetes Sonda ULA. Este proyecto contempla el diseño y construcción de cohetes tipo sonda propulsados por combustible sólido, para ser empleados en múltiples trabajos científicos tales como: biometereología, fotobiología atmosférica, aerobiología epidemia-lógica, neurofisiología aeroespacial, monitoreo de contaminación ambiental, reforestación de zonas de difícil acceso, mejoramiento de las telecomunicaciones y, a mediano y largo plazo, la colocación en posiciones suborbitales y orbitales de nanosatélites [1].

La temperatura máxima teórica en la cámara de combustión de los cohetes sonda ULA es de aproximadamente 1100 °C [2]. Por tanto, la termocupla seleccionada para registrar estas temperaturas es tipo K, cuyo rango de trabajo se encuentra entre -200 °C y 1200 °C y posee un conductor positivo Níquel-Cromo y un conductor negativo Níquel-Alumel. Las termocuplas son sensores para medir temperatura, que consisten en dos metales diferentes que se encuentran unidos (generalmente por medio de soldadura) en sus puntas [3]. Cuando dos metales diferentes están unidos en sus extremos, se genera un voltaje en dicha unión. Este voltaje aumenta en proporción a la temperatura de la unión y la diferencia de potencial entre los dos extremos de cada material depende de la llamada unión fría. Un aumento de temperatura produce un incremento de voltaje, es decir, la energía calorífica generada por la corriente en el elemento calefactor aumenta la temperatura de la unión fría e incrementa el voltaje generado a través de las terminales de los metales [4]. Estos niveles de tensión o corriente deben ser muestreados, filtrados y convertidos a forma digital. Para ello se hace necesario amplificar la señal proveniente de la termocupla, utilizando un amplificador que modifique la amplitud de la señal, aumente la capacidad de corriente disponible para dicha señal, convierta una señal de corriente a tensión y amplifique las señales diferenciales con el objeto de

reducir ruido común en el sistema. Además, el amplificador debe poseer una alta impedancia de entrada, baja impedancia de salida, baja corriente de polarización de entrada, bajo coeficiente térmico del punto de operación y bajo nivel de ruido relativo a la señal que se busca amplificar [5].

El propósito de este trabajo es llevar a cabo la caracterización termodinámica del motor de un cohete serie ULA utilizando una termocupla tipo K, amplificando su señal con una tarjeta amplificadora diseñada y construida en los laboratorios de la Universidad de Los Andes. La importancia de este estudio radica en que permite obtener mayor información acerca del desempeño del motor del cohete, ya que al relacionar los valores de temperatura con los de presión en diferentes puntos a lo largo del motor, se puede conocer la temperatura del combustible (propelente), la cual influye directamente en la velocidad de quemado del motor [6]. Asimismo, se puede determinar el estado de los gases producto de la combustión y finalmente estimar la fuerza de empuje [7]. De igual manera, permitirá lograr avances significativos en los futuros diseños de los motores de dichos cohetes, con los que se busca alcanzar mayores alturas en las siguientes pruebas de rendimiento aerodinámico y finalmente conseguir el principal objetivo de los cohetes serie ULA, el cual es colocar un nanosatélite en órbita baja.

MATERIALES Y MÉTODOS

El motor de combustible sólido de los cohetes sonda serie ULA-1 tipo B consiste en una cámara de combustión cilíndrica de 45 cm de longitud (figura 1), fabricada en acero AISI 1020, la cual aloja en su interior los cartuchos de combustible. Esta cámara está sellada en la parte superior por un disco de acero AISI 1045, sujetada con tornillos grado 8 y reforzada con soldadura TIG [1]. En la parte inferior se acopla una tobera cónica convergente-divergente, fabricada en acero AISI 1045, sujeta al tubo con tornillos grado 8. Es a través de esta tobera que se aceleran los gases de escape, los cuales se producen a partir de la combustión del propelente [8].



Figura 1. Motor del Cohete ULA 1-B.

El principal componente de la tarjeta de amplificación de la señal de la termocupla a utilizar en el presente trabajo es un amplificador modelo AD595, el cual funciona como un compensador de termocuplas de junta fría para un chip monolítico. Este tipo de amplificador combina el punto de hielo de referencia con un amplificador precalibrado, produciéndose un alto nivel de salida directa ($10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$) desde la señal de la termocupla; puede ser utilizado para amplificar el voltaje de compensación directamente, convirtiéndose en un transductor Celsius individual con una impedancia baja de salida [9].

Entre los otros materiales y componentes utilizados para la elaboración de la tarjeta de amplificación de señal se encuentra una fuente de poder a 12V y 3A, potenciómetros de precisión de 500k, condensador

electrolítico de $1000\mu\text{F}$, capacitores electrolíticos de 300p y de 10k, cable transmisor de la señal acondicionada, soldadura de estaño, óxido férrico y láminas de baquelita.

El diseño de la tarjeta amplificadora de la señal (figura 2) se realizó por medio de un software especializado en el diseño de circuitos electrónicos. Una vez obtenido el diseño o arte (figura 3), éste se plasmó en una lámina de baquelita previamente pulida, para eliminar impurezas y así poder timbrar el diseño de las pistas con una máquina estampadora. La lámina con el circuito impreso fue sometida a un baño de óxido férrico, con el propósito de fijar las pistas. Posteriormente, se instalaron los componentes que conforman el circuito de la tarjeta de amplificación usando soldadura de estaño, la cual establece la conductividad eléctrica en toda la pista y por consiguiente entre los componentes electrónicos. Al finalizar la construcción de la tarjeta se procedió a programar la adquisición de la señal, estableciendo la cantidad de datos a obtener por segundo y el punto de calibración (temperatura ambiente y voltaje), para finalmente poder transformar la lectura de voltaje en temperatura.

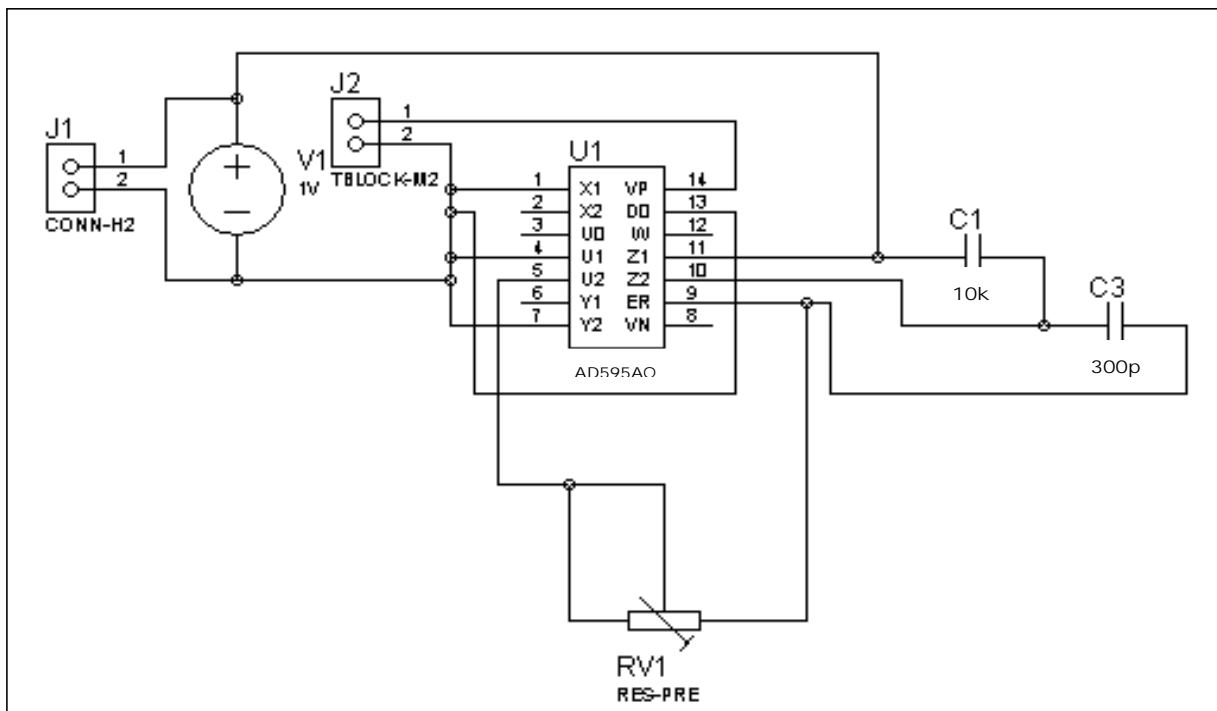


Figura 2. Plano esquemático del circuito de la tarjeta amplificadora de la señal procedente de una termocupla tipo K

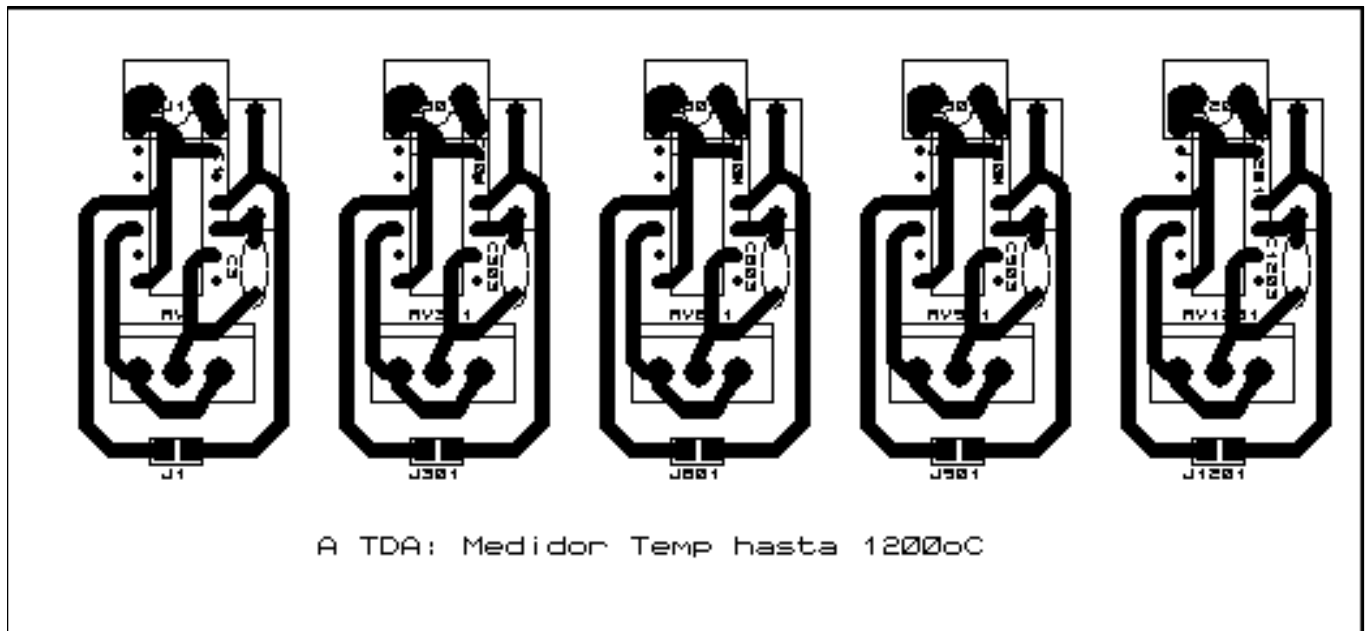


Figura 3. Arte del circuito de la tarjeta amplificadora de señal.

RESULTADOS Y DISCUSION

La tarjeta de amplificación consta de cinco canales (figura 4), lo que hace posible realizar las mediciones de temperatura en cinco puntos diferentes a lo largo del motor de manera simultánea. Se programó para tomar 1000 muestras por segundo, con un error de 1×10^{-3} V, en un lapso aproximado de 4 segundos, tiempo en el que se lleva a cabo el proceso de combustión en los motores de los cohetes (e.g. ULA 1-B).

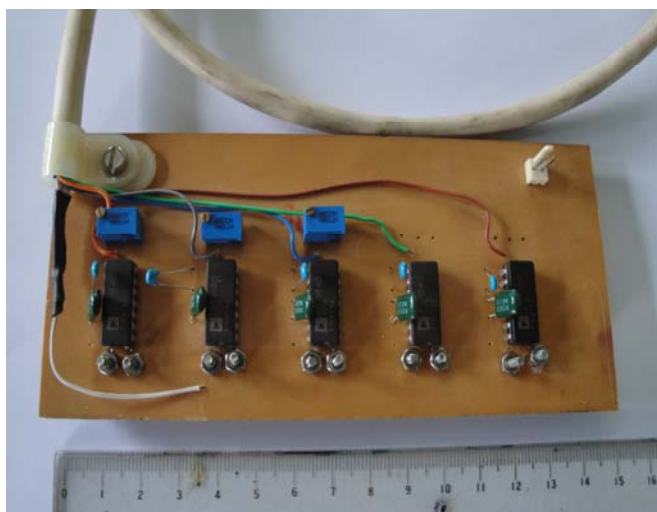


Figura 4. Tarjeta de amplificación de señal para Termocuplas tipo K en su proceso de construcción.

Con el fin de garantizar el correcto funcionamiento del sistema de amplificación y acondicionamiento de la señal que proviene de las termocuplas, así como también del sistema de adquisición de datos de las temperaturas registradas en el motor del cohete ULA 1-B, es necesario llevar a cabo una serie de pasos previos, como se muestra en la figura 5.

En la figura 6 se puede observar que al iniciarse el quemado del combustible en el motor, las termocuplas comienzan a medir los cambios de temperatura que se originan dentro de la cámara de combustión y en la tobera. Luego esos cambios se transmiten como una señal a una tarjeta de amplificación, la cual se encarga de modificar la amplitud de dicha señal, aumenta la capacidad de corriente disponible para ella, linealiza la señal y amplifica las señales diferenciales con el objeto de reducir cualquier ruido existente en el sistema. Una vez que se amplifica y acondiciona la señal emitida por las termocuplas, ésta se envía a una tarjeta de adquisición de datos, que se encarga de almacenar los registros hechos durante el proceso de combustión y posteriormente se descargan en un computador.

La tarjeta de amplificación de señal de las termocuplas tipo K utilizadas en los motores de los Cohetes Sonda ULA, hace posible la adquisición de datos de temperatura, una variable indispensable

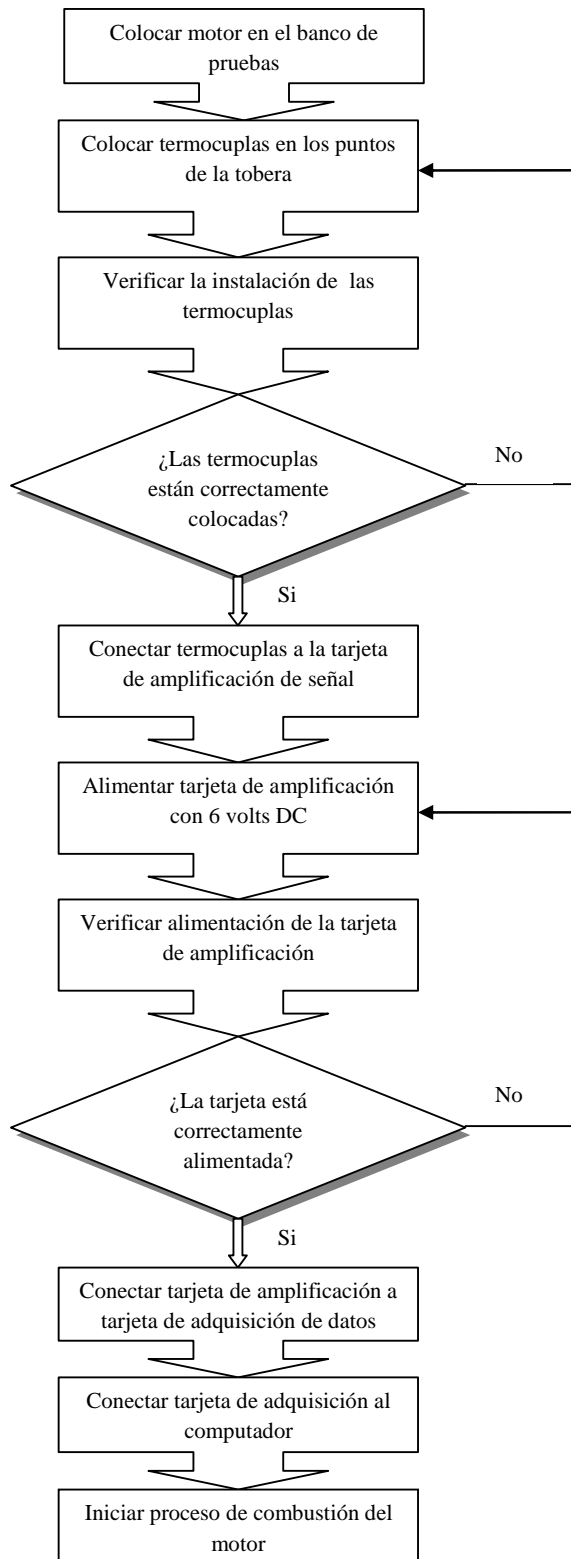


Figura 5. Diagrama de flujo de los pasos previos a la adquisición de datos de temperatura en el motor del cohete sonda ULA-1B.

para determinar la fuerza de empuje de dichos motores, donde dicho parámetro dictamina la altura máxima de vuelo de un cohete. Asimismo, la medición de temperaturas en el motor de estos cohetes es relevante porque de dicha temperatura depende la velocidad de quemado del combustible. Si mayor es la temperatura que se experimenta en la

cámara de combustión, mayor es la tasa de quemado del combustible, y como consecuencia, el tiempo en que se consume el combustible es menor. Las experimentaciones llevadas a cabo hasta la fecha en los motores de los Cohetes Sonda ULA, han arrojado que a menor tiempo de quemado del combustible la fuerza de empuje del cohete aumenta.

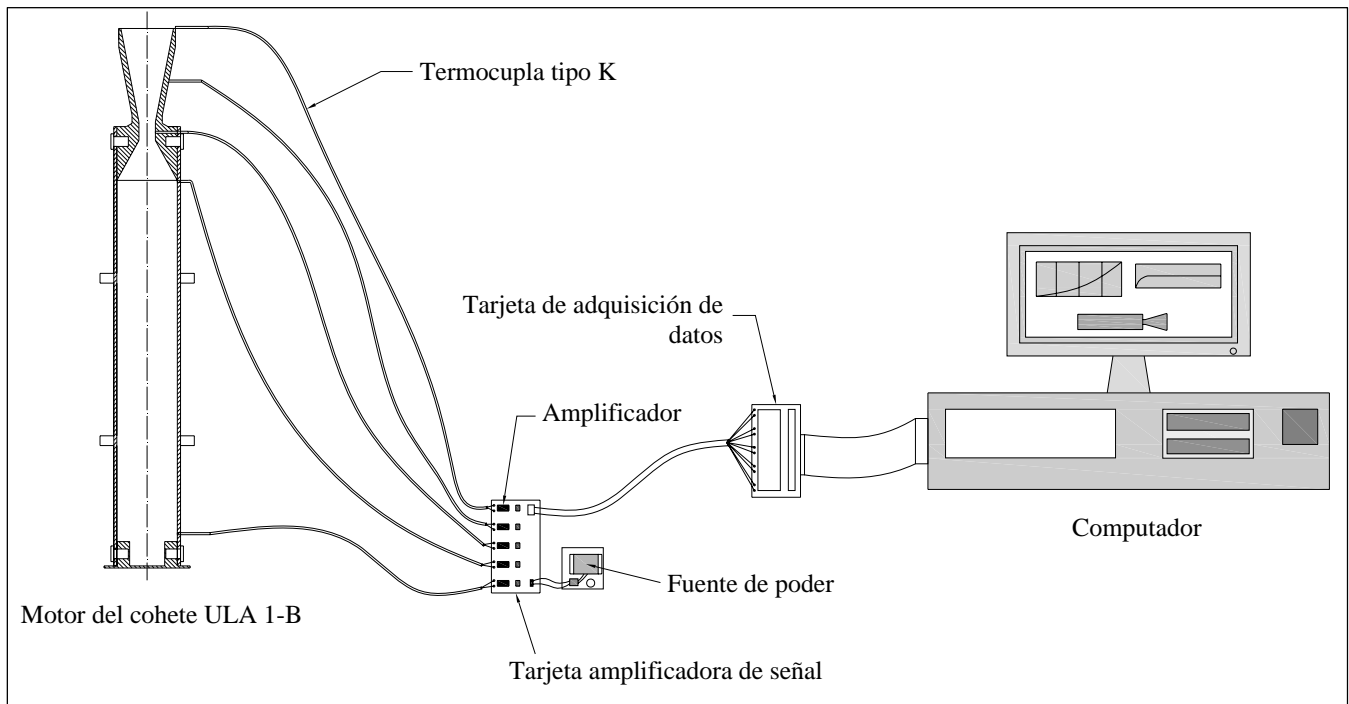


Figura 6. Representación del sistema de adquisición y procesamiento de datos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su más profundo agradecimiento al Vicerrector Administrativo de la Universidad de Los Andes, Prof. Manuel Aranguren, al personal del Laboratorio de Instrumentación Científica (LIC) de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Los Andes por su apoyo, al Ing. Jimer Ramírez y a todos nuestros colegas de la Comisión Rectoral para el Programa de Ciencias Espaciales de la Universidad de Los Andes.

REFERENCIAS

- [1] MARCANO V., BENÍTEZ P., LA ROSA C, LACRUZ L, PARCO M. A, FERREIRA J, ANDRESSEN R., SERRA VALLS A., PEÑALOZA M., RODRIGUEZ L., CÁRDENAS J. E., MINITTI V., ROJAS J. J., 2009. Progresos Alcanzados en el Proyecto Universitario Cohete Sonda ULA. Revista Universidad, Ciencia y Tecnología UNEXPO 13, 305-316.
- [2] NANIGIAN, J. AND NANIGIAN, D., SPIE 6222-3. A Unique Thermocouple To Measure The Temperatures Of squibs, Igniters, Propellants And Rocket Nozzles. NANMAC Corporation, 11 Mayhew St., Framingham, MA USA 02701.
- [3] OMEGA ENGINEERING TECHNICAL REFERENCE 2003-2010, <http://www.omega.co.uk>
- [4] COOPER, W. D. Y HELFRICK, A. D., 1991. Instrumentación Electrónica Moderna y Técnicas de Medición. Prentice-Hall Hispanoamérica, 85-87

- [5] NAVARRO D. H. A., 1995. Instrumentación Electrónica Moderna para ingenieros y científicos. Editorial Innovación Tecnológica. Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela, 71-102.
- [6] KUENTZMANN P., 2002 Introduction to Solid Rocket Propulsion. RTO/VKI Special Course on "Internal Aerodynamics in Solid Rocket Propulsion". Rhode-Saint-Genèse, Belgium, 27-31 May. Published in RTO-EN-023.
- [7] ANDERSON JR., J. D. 2003. Modern Compressible Flow: With Historical Perspective. McGraw-Hill, Third Edition, USA,
- [8] NASA SP-8115, 1975. Solid Rocket Motor Nozzles. published by NASA. Washington, D.C., pp 126.
- [9] ANALOG DEVICES, INC., 1999. Monolithic Thermocouple Amplifiers with Cold Junction Compensation, AD594/AD595, <http://www.analog.com>.

Dirección

PARCO^{1*} María Alejandra, Leonardo LACRUZ¹, José Fernando PEREZ², Vicente MARCANO^{1,3}, Pedro BENÍTEZ^{1,3}, John FERREIRA¹, Carlos LA ROSA^{1,3}
<parcomaria@ula.ve>

¹ Comisión Rectoral para el Programa de Ciencias Espaciales, Edif. CIAE-TELMAG, La Hechicera Universidad de Los Andes,

² Laboratorio de Instrumentación Científica, Facultad de Ciencias, Universidad de Los Andes

³ Grupo de Ciencias Atmosféricas y del Espacio, Vicerrectorado Académico, Universidad de Los Andes Mérida 5101, República Bolivariana de Venezuela