

Prácticas de Laboratorio de Picosatélites

Prácticas de Laboratorio de Picosatélites

Lilia Edith Aparicio Pico, Adrián Esteban Giraldo Benítez,
Diego Fernando Espinel Gómez



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS



E²PACIOS

© Universidad Distrital Francisco José de Caldas
© Centro de Investigaciones y Desarrollo Científico
© Lilia Edith Aparicio Pico, Adrián Esteban Giraldo Benítez,
Diego Fernando Espinel Gómez

ISBN físico: 978-958-787-401-3
ISBN digital: 978-958-787-402-0
Primera edición, noviembre de 2022

Dirección Sección de Publicaciones
Rubén Eliécer Carvajalino C.

Coordinación editorial
Edwin Pardo Salazar

Corrección de estilo
Proceditor

Diagramación
Astrid Prieto Castillo

Editorial UD

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Carrera 24 N°. 34-37

Teléfono: (601)3239300 ext. 6202

Correo electrónico: publicaciones@udistrital.edu.co

*Sistema de Bibliotecas de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Catalogación en la publicación (CEP)*

Aparicio Pico, Lilia Edith

Prácticas de Laboratorio de Picosatélites/ Lilia Edith Aparicio Pico,
Adrián Esteban Giraldo Benítez y Diego Fernando Espinel Gómez –
1a. ed.-- Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2022.

160 páginas; 24 cm. (Espacios)

ISBN: 978-958-787-401-3 ISBN digital: 978-958-787-402-0

1. Satélites artificiales en telecomunicaciones - 2. Sistema de
posicionamiento global - 3. Telecomunicaciones - 4. Satélites
artificiales -- Diseño y construcción

621.380423: CDD 22 edición.

Todos los derechos reservados.

Esta obra no puede ser reproducida sin el permiso previo escrito de la
Sección de Publicaciones de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
Hecho en Colombia

Contenido

Prólogo	17
Introducción	21
Planteamiento del problema	23
Capítulo 1. Prácticas de laboratorio para sala limpia	25
Práctica 1. Verificación de las condiciones físicas de una sala limpia	25
Práctica 2. Verificación de los sistemas de seguridad de una sala limpia	29
Práctica 3. Estudio y verificación de cumplimiento de la normatividad que rige una sala limpia	31
Capítulo 2. Prácticas de laboratorio para OBC	33
Práctica 1. Instalación del software CrossWorks for MSP430	33
Práctica 2. “Hola, mundo” en MSP430	36
Capítulo 3. Pruebas según el estándar GSFC-STD-7000A	43
Práctica 1. Pruebas de respaldo de hardware	43
Práctica 2. Pruebas exhaustivas de rendimiento	43
Práctica 3. Desempeño en tiempos de funcionamiento y pruebas de funcionamiento libres de fallos	43
Práctica 4. Clasificación de las cargas estructurales	44
Práctica 5. Calificación vibroacústica	44
Práctica 6. Clasificación del barrido de vibración sinusoidal	44
Práctica 7. Calificación de las pruebas de choque	45
Práctica 8. Requerimientos de compatibilidad electromagnética	45
Práctica 9. Requerimientos de presión	45
Práctica 10. Requerimientos de vacío, térmicos y humedad	45
Práctica 11. Calificación del balance térmico	46
Práctica 12. Verificación de temperatura-humedad	46

Capítulo 4. Prácticas de laboratorio para la estación terrena	47
Práctica 1. Protocolo para bajar las antenas y los rotores	47
Práctica 2. Pruebas de continuidad para las antenas de VHF y UHF	49
Práctica 3. Pruebas de impedancia para la antena de VHF	51
Práctica 4. Pruebas de impedancia para la antena de UHF	54
Práctica 5. Pruebas de potencia y SWR para las antenas de VHF y UHF	56
Práctica 6. Valoración física de los rotores	63
Práctica 7. Establecimiento de comunicación serial	65
Práctica 8. Calibración y puesta a punto de rotores	69
Práctica 9. Pruebas de cableado y reinstalación de rotores	76
Práctica 10. Pruebas de transmisión	77
Práctica 11. Pruebas de recepción de Beacon	80
Capítulo 5. Prácticas de laboratorio para banco de comunicaciones	85
Práctica 1. Programación módulo de comunicaciones	85
Práctica 2. Energizar módulo de comunicaciones	87
Práctica 3. Verificación de la señal Beacon	89
Práctica 4. Uso del transceptor para Tx y Rx de señal Beacon	90
Práctica 5. Detección de Beacon con TNC	94
Capítulo 6. Consideraciones para el banco de control de actitud	101
Pasos para la adquisición de la actitud	101
El sistema de control pasivo	102
El giroscopio triaxial	103
Capítulo 7. Prácticas de laboratorio para banco de potencia	105
Práctica 1. Verificación de curvas de histéresis de la etapa de regulación sin carga de manera individual	105
Práctica 2. Verificación de curvas de histéresis de la etapa de regulación sin carga con combinación de reguladores	108
Práctica 3. Eficiencia individual de cada regulador de la etapa de entrada con carga a la salida	111
Práctica 4. Eficiencia de la combinación de reguladores de la etapa de entrada con carga a la salida	114
Práctica 5. Eficiencia individual de cada regulador de la etapa de entrada, variando la carga	118

Práctica 6. Eficiencia de la combinación de los reguladores de la etapa de entrada, variando la carga	121
Práctica 7. Carga de baterías de forma individual	124
Práctica 8. Descarga de baterías de forma individual	127
Práctica 9. Carga de baterías de forma combinada	129
Práctica 10. Descarga de baterías de forma combinada	132
Práctica 11. Programación módulo de potencia	134
Capítulo 8. Integración de subsistemas	137
Requerimientos técnicos y condiciones para el protocolo de integración	137
Requerimientos mecánicos	137
Requerimientos eléctricos	139
Requerimientos operacionales	140
Requerimientos de integración modular	142
Capítulo 9. Protocolo de integración y su validación ante estándares internacionales	145
Fase 1. Protocolo de verificación por cada subsistema	145
Fase 2. Picosatélite como sistema único integrado	148
Conclusiones	153
Referencias	155
Anexo 1. Lista de comandos controlador serial Yaesu GS-232B	157
Autores	159

Lista de figuras

Figura 1.	Procedimiento prevestimenta sala limpia	26
Figura 2.	Procedimiento vestimenta sala limpia	27
Figura 3.	Indumentaria adecuada para ingreso a una sala limpia	28
Figura 4.	License Manager	34
Figura 5.	Evaluate CrossWorks	34
Figura 6.	Envío de solicitud de activación	35
Figura 7.	Activate CrossWorks	35
Figura 8.	Instalación de paquetes	36
Figura 9.	MSP430F1612 ubicado sobre tarjeta de cabecera	37
Figura 10.	Energizar la tarjeta de desarrollo	37
Figura 11.	Conexión tarjeta de desarrollo a computador	38
Figura 12.	Ambiente de desarrollo	38
Figura 13.	Procesador que se va a programar	39
Figura 14.	Path de directorios	39
Figura 15.	Código para encender y apagar un led	40
Figura 16.	Interfaz de programación conectada correctamente	40
Figura 17.	Solución construida de manera correcta	41
Figura 18.	Balun y conectores de la antena de VHF	50
Figura 19.	Balun abierto	51
Figura 20.	Antena de VHF a 2,2 metros de altura	52
Figura 21.	Conexión cable de extensión al VNA Anritsu	53
Figura 22.	Cable de extensión con conector N-N	53
Figura 23.	Cable de extensión con conector N-UHF	53
Figura 24.	Antena de UHF a 2,2 metros de altura	55
Figura 25.	Conexión del medidor de potencia y transceptor	57

Figura 26. Conexión de la antena al medidor de potencia	58
Figura 27. Conexión del cable de alimentación DC al transceptor	58
Figura 28. Conexión de la fuente GZV4000 al SX-400	59
Figura 29. Conexión de la fuente GZV4000 al transceptor	59
Figura 30. Conexión panel frontal y micrófono al transceiver	60
Figura 31. Medidor de potencia y transceptor encendidos	60
Figura 32. SWR & Power Meter	61
Figura 33. Rotores de elevación y azimut	63
Figura 34. Conector metálico de siete pines	64
Figura 35. Controlador parte posterior antes y después de conectar	65
Figura 36. Esquema de conexión rotores, interfaz de control y controlador	66
Figura 37. Creación de nueva conexión serial	67
Figura 38. Selección de puerto a utilizar	67
Figura 39. Configuración de comunicación serial (tomada del manual)	68
Figura 40. Configuración de parámetros necesarios para comunicación serial	68
Figura 41. Señal de confirmación de establecimiento de comunicación serial	69
Figura 42. Azimut ajustado en cero grados (0°)	70
Figura 43. Anulación de <i>offset</i> azimut	71
Figura 44. Rotor de azimut ajustado a la derecha	71
Figura 45. Calibración de conversor A-D	72
Figura 46. Elevación ajustada en cero grados (0°)	72
Figura 47. Anulación de <i>offset</i> de elevación	73
Figura 48. Rotor de elevación ajustado a la derecha	73
Figura 49. Calibración del conversor A-D (literales f y h)	74
Figura 50. Lista de comandos azimut	74
Figura 51. Lista de comandos elevación	75
Figura 52. Modos de configuración rotor azimut	75
Figura 53. Conexión cable de bajada al transceptor	79
Figura 54. Página web para rastreo de satélites	82
Figura 55. Listado de satélites en órbita	82
Figura 56. Datos del satélite rastreado	83
Figura 57. Conexión para programar el módulo de comunicaciones	86
Figura 58. Programa para módulo de comunicaciones	86
Figura 59. Distribución de pines del bus de comunicaciones	87
Figura 60. Acoplamiento del módulo de comunicaciones a la tarjeta de desarrollo	88

Figura 61. Conexión buses del PC104	89
Figura 62. Medición de señal Beacon	90
Figura 63. Distribución de pines conector transceptor	91
Figura 64. Conector transceptor	91
Figura 65. Conexión transceptor del módulo de comunicaciones al radio Yaesu	92
Figura 66. Parte posterior del radio Kenwood	92
Figura 67. Conexión del cable de audio de 3,5 mm	93
Figura 68. Configuración del micrófono en el computador	93
Figura 69. Verificación de activación del micrófono	94
Figura 70. Radio Kenwood TM-D700. Vista frontal y posterior	96
Figura 71. Conexión de la tarjeta de desarrollo a la tarjeta de expansión	96
Figura 72. Conexión serial al radio	96
Figura 73. Conexión serial al TNC	97
Figura 74. Conexión al radio	97
Figura 75. Conexión al TNC	97
Figura 76. Conexión cable de 3,5 mm a la tarjeta	98
Figura 77. Conexión cable de 3,5 mm al radio	98
Figura 78. Conexión del cable USB al TNC	98
Figura 79. Asignar <i>callsigns</i>	100
Figura 80. Detección Beacon	100
Figura 81. Pasos para alcanzar la adquisición de la actitud	101
Figura 82. Configuración EPS v3 (regulador individual sin carga)	106
Figura 83. Conexión EPS v3 (regulador individual sin carga)	106
Figura 84. Configuración EPS V3 (combinación de reguladores sin carga)	109
Figura 85. Conexión EPS v3 (combinación de reguladores sin carga)	109
Figura 86. Configuración EPS v3 (regulador individual con carga)	112
Figura 87. Conexión EPS v3 (regulador individual con carga)	112
Figura 88. Configuración EPS v3 (combinación de reguladores con carga)	115
Figura 89. Conexión EPS v3 (combinación de reguladores con carga)	115
Figura 90. Configuración EPS v3 (regulador individual con variaciones de carga)	119
Figura 91. Conexión EPS v3 (regulador individual con variaciones de carga)	119
Figura 92. Configuración EPS V3 (combinación de reguladores con variaciones de carga)	122
Figura 93. Conexión EPS V3 (combinación de reguladores con variaciones de carga)	122
Figura 94. Conexión EPS V3 (carga individual de baterías)	125
Figura 95. Conexión EPS v3 (descarga individual de baterías)	128

Figura 96. Conexión EPS v3 (carga de ambas baterías)	130
Figura 97. Conexión EPS v3 (descarga de ambas baterías)	133
Figura 98. Programa módulo de potencia	135
Figura 99. Dimensiones del satélite CubeSat	138
Figura 100. Sistema de coordenadas CubeSat	138
Figura 101. Apilamiento de módulos en BUS PC/104	143
Figura 102. Bus PC/104 predeterminado por OBC CubeSat-UD	144
Figura 103. Fase 1 del protocolo de verificación individual de subsistemas	147

Lista de tablas

Tabla 1. Mediciones de subida (regulador individual sin carga)	107
Tabla 2. Mediciones de bajada (regulador individual sin carga)	108
Tabla 3. Mediciones de subida (combinación de reguladores sin carga)	110
Tabla 4. Mediciones de bajada (combinación de reguladores sin carga)	111
Tabla 5. Regulador X con carga	113
Tabla 6. Regulador Y con carga	114
Tabla 7. Regulador Z con carga	114
Tabla 8. Combinación de reguladores XY con carga	117
Tabla 9. Combinación de reguladores XZ con carga	117
Tabla 10. Combinación de reguladores YZ con carga	117
Tabla 11. Combinación de reguladores XYZ con carga	118
Tabla 12. Regulador X con variaciones de carga	120
Tabla 13. Regulador Y con variaciones de carga	121
Tabla 14. Regulador Z con variaciones de carga	121
Tabla 15. Combinación de reguladores XY con variaciones de carga	123
Tabla 16. Combinación de reguladores XZ con variaciones de carga	124
Tabla 17. Combinación de reguladores YZ con variaciones de carga	124
Tabla 18. Combinación de reguladores XYZ con variaciones de carga	124
Tabla 19. Carga de la batería	127
Tabla 20. Descarga de la batería	129
Tabla 21. Carga de ambas baterías	132
Tabla 22. Descarga de ambas baterías	134
Tabla 23. Cumplimiento de requerimientos	141
Tabla 24. Masa de subsistemas CubeSat-UD	145
Tabla 25. Diseño uso del BUS PC/104 para Colombia-1	149
Tabla 26. Descripción del uso del BUS PC/104 para Colombia-1	150

Prólogo

Raúl E. Gutiérrez G.*

Colombia, en cuanto a desarrollo espacial, es una historia de enormes potenciales muchas veces no aprovechados, o de una permanente diáspora de grandes talentos que, a falta de suficientes y adecuadas oportunidades para desarrollar su habilidad por las ciencias y tecnologías espaciales terminan emigrando y, en consecuencia, aportando con sus conocimientos y capacidades al avance y desarrollo espacial de otras naciones que les ofrecen condiciones favorables y obtienen lo mejor de sus talentos.

También es una historia de numerosas personas e instituciones que trabajan con tenacidad y vocación en el país en busca de despertar ese enorme potencial que, enfocado adecuadamente, permitiría a Colombia situarse como un actor de la mayor importancia en el escenario espacial regional y mundial; esfuerzos, en su mayoría, que se realizan de manera aislada, a falta de una visión de país en el marco del concierto espacial mundial. Una visión que debe ser ambiciosa, de largo plazo y que sea incluyente, que motive la unión de esfuerzos y capacidades para desatar su potencial aeroespacial que, además, facilite el retorno o el aporte desde la distancia de quienes aspiran ver a Colombia en el rol que, dadas sus riquezas y el talento de su gente, está llamada a cumplir y que otras naciones esperan verla desempeñando. Una visión que debe tener clara la importancia estratégica que reviste para el país

* Coronel (r) Raúl Eduardo Gutiérrez Gómez. Administrador Aeronáutico. Especialista en Seguridad y Defensa Nacional y en Comando y Estado Mayor. Magíster en Administración Aeroespacial. Cofundador y Director de Desarrollo de Negocios del Octant Aerospace Consulting de Canadá. Presidente y CEO de la Asociación Espacial National Space Society Colombia.

acometer su desarrollo espacial dado su gran impacto en el progreso económico y social en el escenario mundial.

Sin embargo, estructurar la visión del futuro espacial de Colombia es solo un paso, uno sumamente importante, pero solo uno de varios que nuestra nación necesita dar, de manera certera y sin demora, para garantizar las condiciones necesarias y participar en la economía espacial mundial. Desde el punto de vista normativo, el primer paso es que dicha visión debe emanar y ser parte de una Política Nacional de Desarrollo Espacial que, aunque debe originarse en el poder ejecutivo, debería ser construida bajo el liderazgo del Gobierno nacional, de manera articulada y consensuada con los diferentes actores, sean estos del ámbito legislativo, académico, del sector privado, del sector público o de la sociedad civil. Una política que, desde su inicio, debe ser concebida para trascender la óptica y temporalidad de un gobierno, trazando el camino de pasar de ser una política de gobierno, a una ley de la República y, de ahí, a una política de Estado.

Además de la visión, dicha política debe definir los objetivos estratégicos por alcanzar mediante el desarrollo espacial. También debe sentar las bases del Programa Espacial Nacional, el cual, a su vez, debe identificar las capacidades espaciales requeridas por el país, así como el rol, la articulación y la gobernanza de los diferentes actores en el marco de un ecosistema espacial. En paralelo, el ejecutivo y el legislativo deben trabajar mano a mano estructurando un marco legal y normativo que defina y cree los incentivos y las condiciones normativas que estimulen la creación, la participación, el crecimiento y la sostenibilidad de todo tipo de organizaciones que contribuyan desde sus fortalezas y particulares enfoques al logro de los objetivos del desarrollo espacial nacional.

En cuanto a lo organizacional, el país está en mora de crear su agencia espacial de carácter oficial, con personal idóneo y presupuesto, pero sobre todo debida y legalmente facultada para liderar el funcionamiento del programa espacial nacional y actuar como articulador del ecosistema espacial conformado de acuerdo con la cuádruple hélice de sector público, sector privado, academia y sociedad civil organizada.

Ya en lo operacional, es decir, cómo debería funcionar el ecosistema espacial, es indispensable el trabajo del sector privado en llave y estrecha

cooperación con la academia (universidades, centros, grupos y semilleros de I + D) y con las entidades oficiales, las cuales deben presentar requerimientos específicos, concursos y licitaciones para el desarrollo de productos y servicios nativos que contribuyan a solucionar necesidades reales del Estado y la sociedad colombianos. Ello, como punto de partida para superar la curva de aprendizaje necesaria para que las empresas y *spin-off* del ecosistema adquieran la madurez tecnológica y administrativa necesaria para abrirse al mercado internacional, lo cual debe estar apalancado en las facilidades y los estímulos definidos en el marco legal concebido especialmente con tal propósito, lo que les permitiría ofrecer productos y servicios competitivos en la economía espacial mundial.

Este trabajo académico representa un insumo importante en uno de los eslabones más importantes de la cadena o camino del desarrollo espacial, como la estructuración de capacidades espaciales, en este caso, la capacidad de probar con nuestros propios medios y en nuestro país, los sistemas y componentes de picosatélites, el escalón que conduce al desarrollo de satélites de prestaciones y complejidad, cada vez mayores. También, alineado con lo que se planteaba al inicio del presente escrito, es una muestra del esfuerzo que, desde el ámbito académico, realizan profesionales y estudiantes en busca de catalizar el potencial del país y hacer de nuestra nación un actor relevante en el ámbito espacial.

Ha sido una gran oportunidad contribuir con el presente prólogo a este trabajo académico que recoge la experiencia de haber concebido, planeado, estructurado y puesto en funcionamiento el Laboratorio de Picosatélites de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Este completo y detallado *Manual de prácticas*, y el *Manual del laboratorio* que lo complementa, de seguro tendrá gran incidencia en la consolidación de capacidades espaciales, al ofrecer a los futuros técnicos e ingenieros aeroespaciales, que acometan la tarea de diseñar y manufacturar satélites, una guía invaluable para tener a punto los medios y las metodologías indispensables para probar de manera práctica y económica sus conceptos, materializados en componentes y sistemas, sin tener que recurrir a las complejidades, ni a los demorados y costosos procesos para enviarlos a pruebas fuera del país.

Como Presidente de la Asociación Espacial National Space Society Colombia, una voz cada más relevante y un importante aliado de los restantes sectores que trabajan por el desarrollo espacial de Colombia, es un privilegio tener la oportunidad de conocer, de primera mano, un trabajo que demuestra no solo conocimiento sino dedicación, disciplina y pasión por el objeto de estudio y que, sin duda, será un hito en el desarrollo de capacidades espaciales de Colombia. Por ello, agradezco mucho la invitación a aportar a la obra con estas breves palabras, juiciosamente pensadas.

Antes de finalizar no podría dejar de reconocer el papel y el liderazgo demostrado, desde hace años, por Lilia Edith Aparicio Pico, coautora del presente trabajo, a quien tuve el honor de conocer en el 2007, como organizadora del Primer Congreso Internacional en Ciencia y Tecnología Aeroespacial (CICTA), evento que, desde entonces, la Universidad Distrital Francisco José de Caldas realiza anualmente, aún en medio de la pandemia del Covid-19. A lo largo de los años, desde su condición docente y directiva en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Aparicio Pico ha sido un referente en el ámbito aeroespacial nacional.

De igual manera, es necesario reconocer que la presente obra fortalece el palmarés académico de sus demás coautores y representa un significativo aporte colectivo al desarrollo espacial colombiano.

Estoy seguro de que el presente trabajo académico será de sumo provecho para fortalecer y acrecentar las capacidades aeroespaciales de Colombia y será un importante pilar sobre el cual construir conocimiento cada vez más avanzado y relevante.

Introducción

El presente libro contiene los resultados de diseño, montaje y puesta en marcha de las prácticas de laboratorio para el desarrollo de pequeños satélites, como una de las fases del proceso de investigación enmarcado en el proyecto “CubeSat-UD Telemedicina y Telemetría”, cuyo objetivo fue diseñar y construir un plan de capacitación y formación en el desarrollo de pequeños satélites.

La investigación tuvo cinco fases. En la primera, se determinó el diseño preliminar del satélite y, en el proceso, se obtuvieron los diseños parciales de cada componente. Además, se desarrolló una infraestructura de laboratorio que soporta cada banco de trabajo y los aspectos que deben tenerse en cuenta para el desarrollo de cada uno. Asimismo, en esta primera fase del proyecto, se determinó la necesidad de evaluar los diseños preliminares, para llevarlos a una etapa de diseño crítico.

Como consecuencia de lo anterior, se desarrolló la segunda etapa del proyecto, que dio origen a, primero, la determinación de la estructura organizacional y funcional del laboratorio, consignada en otra publicación, y al grupo, en segundo lugar. A partir de esto, tuvieron lugar los diseños y la puesta a punto de las prácticas de laboratorio, que corresponden al contenido principal de este libro.

Las prácticas mencionadas están organizadas de forma que los resultados de las experiencias del proceso de investigación para cada componente del satélite se utilizan en cada módulo originado por los diseños preliminares. Ello hace que este laboratorio sea único y cuente con insumos propios, surgidos de la investigación. Las prácticas son validadas frente a experiencias

de otros laboratorios, con lo cual se verifica la funcionalidad y operación correcta del laboratorio. Esto último está relacionado con otro trabajo sobre organización y estructura normativa del laboratorio, consignado ya en otra publicación del grupo.

Finalmente, conviene mencionar que es necesario tener en cuenta el protocolo de integración de subsistemas y pruebas del picosatélite CubeSat-UD: para el satélite Colombia-1, que corresponde, también, a otra publicación del grupo.

El contenido está organizado como una secuencia lógica del grupo de prácticas que se diseñó y probó, para dar apoyo y soporte a los planes y los cursos de capacitación y formación. El contenido se presenta así: sala limpia, laboratorio para *on board computer* (OBC), pruebas según estándar GSFC-STD-7000 A, estación terrena, banco de comunicaciones, banco de potencia, consideraciones para actitud, lanzamiento y, finalmente, estructuras y mecanismos.

Planteamiento del problema

La Universidad Distrital Francisco José de Caldas, pionera en el campo de la investigación satelital a nivel nacional, tiene la necesidad de implementar un Laboratorio de Picosatélites, a partir de la infraestructura y los desarrollos tecnológicos que han tenido lugar a lo largo de la última década. En consecuencia, es importante resolver el problema de investigación, enunciado de la siguiente manera:

- Teniendo en cuenta la infraestructura de la cual se dispone, ¿es posible diseñar y ejecutar pruebas a los diferentes módulos que componen un picosatélite, con el fin de que sean reproducidas por la comunidad académica en dirección a progresar en la investigación satelital?

Capítulo 1. Prácticas de laboratorio para sala limpia

Nota: no es posible ingresar a la sala limpia, sin haber antes realizado el debido proceso de seguridad y vestimenta adecuada.

Práctica 1. Verificación de las condiciones físicas de una sala limpia

Introducción: la sala se diseña con el fin de alcanzar la temperatura y la humedad relativa necesarias para asegurar las condiciones del aire y la comodidad del personal, considerando que este último llevará el vestuario apropiado, siempre que se encuentre dentro de la sala.

Objetivo: verificar las condiciones físicas y de vestimenta que deben cumplirse para ingresar a una sala limpia.

Materiales:

- Vestimenta apropiada para ingresar a la sala limpia
- Un medidor de temperatura ambiente
- Un medidor de humedad relativa

Procedimiento:

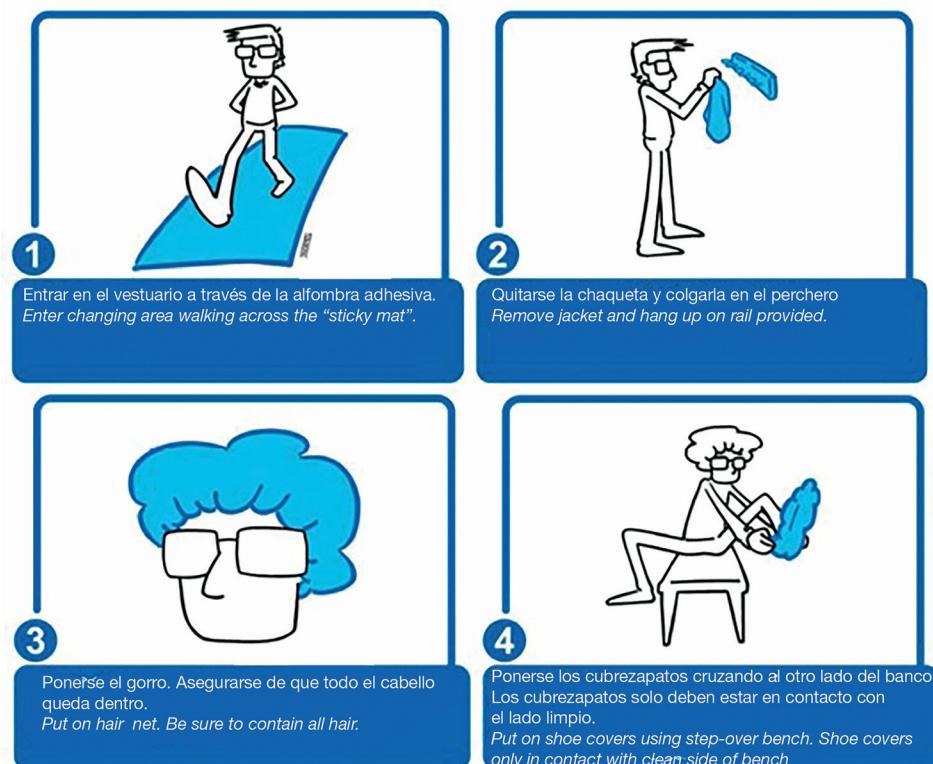
a. Para el ingreso a la sala limpia es necesario contar con la vestimenta idónea, teniendo en cuenta que los elementos que deben portarse para su óptimo uso son:

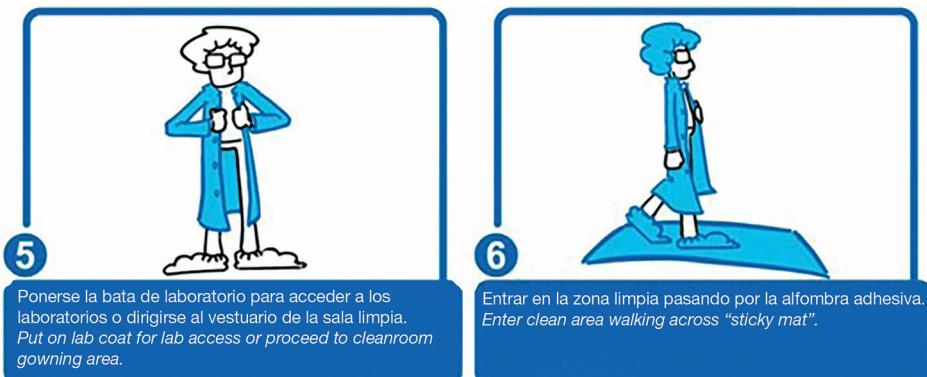
- Bata o mono traje
- Gorro

- Mascarilla o tapabocas
- Calzado área estéril
- Calzas o cubre zapatos
- Guantes
- Gafas
- Verdugo o capuchón
- Polainas o segundo cubre zapatos

b. Luego de verificar el estado de los elementos, debe realizarse el proceso de prevestimenta, de forma adecuada, siguiendo el paso a paso mostrado en la figura 1.

Figura 1. Procedimiento prevestimenta sala limpia

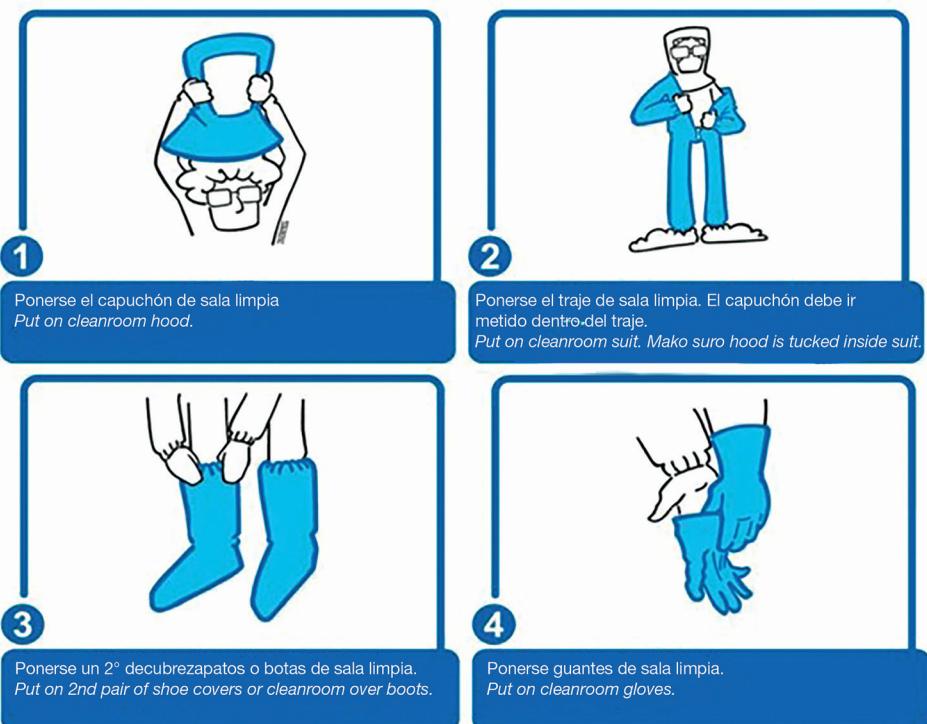


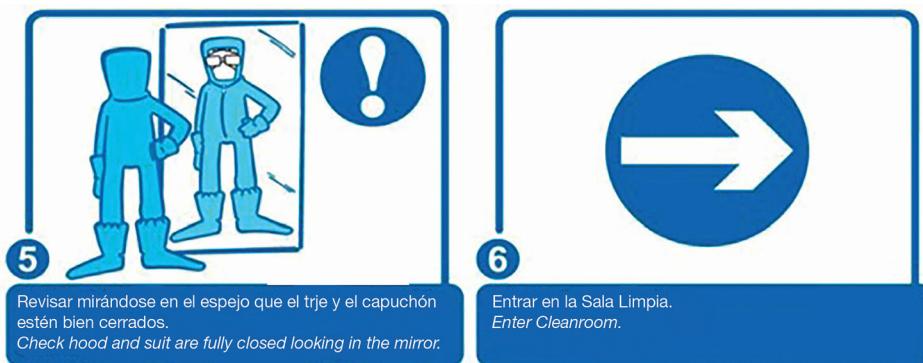


Fuente: Manual de Seguridad en Sala Blanca (2018).

c. Terminado esto, debe continuarse con el proceso de vestimenta, explicado paso a paso en la figura 2.

Figura 2. Procedimiento vestimenta sala limpia





Fuente: Manual de Seguridad en Sala Blanca (2018).

- d. Finalizado el proceso de vestimenta, se debe obtener una apariencia como la mostrada a continuación (figura 3).

Figura 3. Indumentaria adecuada para ingreso a una sala limpia



Fuente: elaboración propia.

- e. Una vez dentro de la sala limpia, con el monitor destinado para medición de temperatura ambiente y humedad relativa, deben verificarse los valores de dichas variables, teniendo en cuenta los niveles recomendados.
- f. *Temperatura ambiente*: debe encontrarse entre los 20 y los 25 °C, con vestimenta básica; o bien entre los 18 y los 22 °C, cuando es necesario el uso de prendas de cobertura especial para la cabeza y los pies.
- g. *Humedad relativa*: debe oscilar entre el 30 y el 55 %. En caso de no encontrarse en los niveles adecuados, se debe informar al encargado de la sala para que se realicen los ajustes necesarios. Cabe aclarar que este monitoreo debe hacerse constantemente, pero para casos prácticos se efectúa cada vez que se haga esta prueba de verificación de condiciones físicas.
- h. Para finalizar, deben localizarse las dos etapas de filtrado de aire, ubicadas dentro de la sala; es necesario verificar su eficiencia en las etiquetas de cada equipo y, posteriormente, en las hojas de datos o manuales de fabricante, teniendo en cuenta que, para la primera etapa o de prefiltrado, debe contarse con una eficiencia al menos del 98 % y, en la etapa de filtrado o segunda etapa, una eficiencia aproximada de 99,995 %.

Práctica 2. Verificación de los sistemas de seguridad de una sala limpia

Introducción: para el funcionamiento adecuado de una sala limpia, esta debe contar con diferentes sistemas de seguridad y sensado permanente. Por ello, es importante realizar una revisión y verificación de su funcionamiento.

Objetivo: garantizar la seguridad del personal que se encuentre trabajando en la sala limpia, así como la integridad de los equipos, por medio de la verificación de los sistemas de seguridad.

Materiales: sistemas de seguridad presentes en una sala limpia.

Procedimiento:

- i. Lo primero que debe hacerse es verificar la existencia de los sistemas de seguridad necesarios en una sala limpia. Por ello, debe evidenciarse la presencia de los siguientes sistemas de seguridad y prevención:

- Extintores
- Sistema de detección de humo (sistema antiincendios)
- Sistema de ventilación
- Puntos de red y electricidad seguros
- Control de temperatura
- Sistema de registro de presiones
- Control de acceso
- Techos falsos sellados
- Filtros *high efficiency particulate air filter* (HEPA)
- Filtros *ultra low particulate air filter* (ULPA)
- Elementos con ruedas (mesas, estantes y gabinetes, entre otros)
- Uso de estructuras modulares

j. Luego de realizar la verificación de existencia, se deben revisar los extintores presentes en la sala limpia, uno por uno, verificando su fecha de vencimiento y condiciones físicas. Conviene aclarar que estos deben encontrarse vigentes y en perfectas condiciones, por lo que, de no ser así, es necesario notificarlo de inmediato al encargado de la sala.

k. Revisar detalladamente la instalación del sistema de detección de humo, además de su aspecto físico y verificación de presencia de la luz intermitente, que indica que está en funcionamiento y que se encuentra energizado. Si no es así, no es posible realizar ninguna prueba.

l. Realizar una revisión exhaustiva de los puntos de red y electricidad, a fin de verificar su funcionamiento y sus condiciones de seguridad, es decir, que no haya cables desnudos o sin protección que puedan ocasionar un accidente o fallo en el funcionamiento de la sala.

m. Verificar que los niveles de iluminación de la sala sean los adecuados para realizar las actividades afines a esta, de manera óptima.

n. Realizar pruebas de funcionamiento para los sistemas de ventilación, control de temperatura, registro de presiones y control de acceso de manera

individual, para evidenciar que la ventilación de la sala es permanente. Para el control de la temperatura, es decir, que se mantenga alrededor de los límites establecidos en la Práctica 1, debe llevarse un registro continuo de las presiones interna y externa de la sala. Por último, el sistema de control de acceso no debe permitir el ingreso a personal no autorizado.

- o. Para finalizar, es necesario comprobar que, dentro de la sala limpia, existan los siguientes implementos:
 - Techos falsos sellados.
 - Estructuras, paredes, suelos y techos de materiales que no desprendan partículas ni acumulen cargas electrostáticas; sin grietas ni ranuras; que permitan el fácil lavado y desinfección (deben resistir el agua a presión).
 - Elementos con ruedas para facilitar la limpieza (mesas, estantes y gabinetes, entre otros).
 - Estructuras modulares.

Es importante mencionar que las implementaciones de sistemas de seguridad siempre irán en pro del objetivo principal de una sala limpia: minimizar los riesgos de contaminación al máximo y facilitar la limpieza y desinfección de sus componentes. Por tanto, todos los sistemas de seguridad deben estar esterilizados y desinfectados, al igual que todo lo presente en la sala limpia.

Práctica 3. Estudio y verificación de cumplimiento de la normatividad que rige una sala limpia

Introducción: para la fabricación de productos microelectrónicos, debe contarse, obligatoriamente, con una sala limpia que cumpla con todos los requerimientos de limpieza y calidad del aire, exigidos en la Norma ISO-14644-1.

El acceso debe ser exclusivo para personal que cumpla con todos los requerimientos de vestimenta, trátese de personal que trabaja dentro de la sala limpia, o bien personal externo a esta. Además, es indispensable contar con una etapa de filtrado eficiente y un exhaustivo control de calidad del aire para la óptima fabricación o ensamblaje de piezas microelectrónicas.

En términos generales, el comité internacional de la ISO decidió redactar y establecer una norma internacional sobre salas limpias, cuya misión es

establecer los criterios que deben regir las salas limpias, sin referirse específicamente a un campo de investigación concreto o un tipo particular de sala limpia. La relación de las Normas ISO es la siguiente:

- ISO 14644-1: clasificación de la limpieza del aire
- ISO 14644-2: especificaciones de prueba y control para demostrar el continuo cumplimiento de la Norma ISO 14644-1
- ISO 14644-3: metrología y método de prueba
- ISO 14644-4: diseño, construcción y puesta en marcha
- ISO 14644-5: funcionamiento
- ISO 14644-6: términos y definiciones
- ISO 14644-7: dispositivos de limpieza
- ISO 14644-8: contaminación molecular de aire
- ISO 14644-9: clasificación de la limpieza de superficies
- ISO 14644-10: contaminación química (superficies)
- ISO 14644-12: clasificación por concentración de nanopartículas

Objetivo: verificar el cumplimiento de las normas que rigen una sala limpia.

Materiales:

- Las Normas ISO-14644-1 a ISO-14644-12 listadas
- La normatividad referente a una sala limpia

Procedimiento: estudiar detalladamente cada parte de la Norma 14644 referente a salas limpias. Luego, verificar los requerimientos que la sala limpia cumple en cada caso; así como aquellos que no son cumplidos.

Capítulo 2. Prácticas de laboratorio para OBC

Práctica 1. Instalación del software CrossWorks for MSP430

Introducción: en esta práctica se muestra el proceso de instalación del *software* que permite la programación del sistema de datos, así como de los demás módulos presentes en el picosatélite.

Objetivo: aprender a instalar el *software* CrossWorks for MSP430.

Materiales: una computadora.

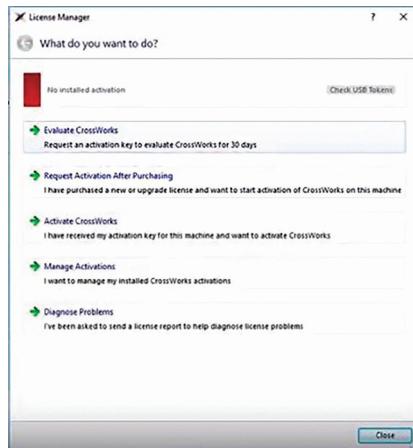
Procedimiento:

Nota

- Cada copia de CrossWorks debe estar registrada y activada antes de crear proyectos o descargar y depurar aplicaciones, para ello es necesario utilizar el administrador de licencia de CrossWorks con el fin de solicitar y activar el *software*. Este procedimiento se muestra en la siguiente práctica.
- Esta práctica presenta el procedimiento para instalar y activar el *software* por un periodo de prueba de 30 días.

- a. Instalar en la computadora el *software* CrossWorks for MSP430 de la empresa Rowley Associates, el cual puede descargarse desde el sitio web <https://www.rowley.co.uk/msp430/index.htm>
- b. Del menú superior, seleccionar *Tools* y, enseguida, *License Manager*. Debe aparecer una ventana como la que se ilustra en la figura 4.

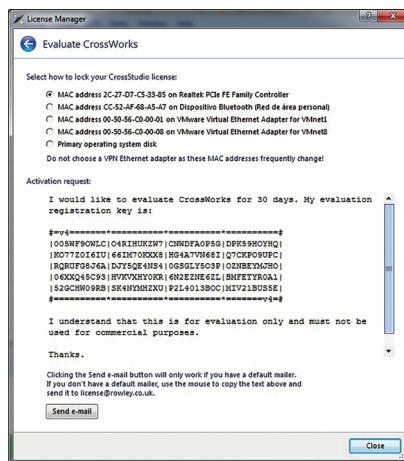
Figura 4. License Manager



Fuente: elaboración propia.

c. Al seleccionar la opción *Evaluate CrossWorks*, debe mostrarse una ventana como la exhibida en la figura 5.

Figura 5. Evaluate CrossWorks

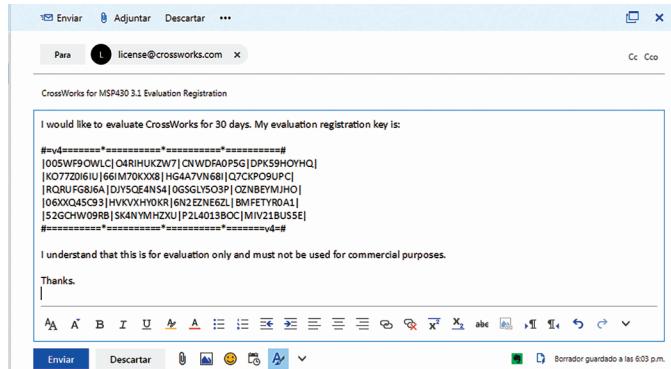


Fuente: elaboración propia.

d. Seleccionar la opción *MAC address XX-XX-XX-XX-XX-XX on Realtek PCIe FE Family Controller* y presionar *Send e-mail*. En caso de que al oprimir *Send e-mail* no se envíe el correo, puede abrirse el correo personal (o de su preferencia), copiar el texto de solicitud de activación y pegarlo en un nuevo correo electrónico, dirigido a license@crossworks.com. En

cualquiera de los casos, debe aparecer una ventana similar a la de la figura 6.

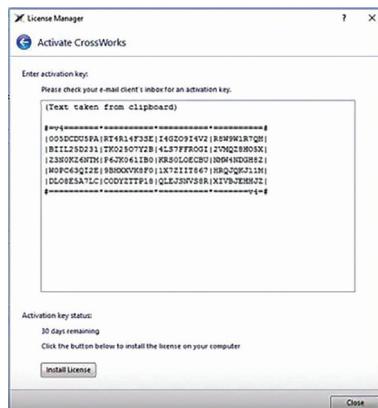
Figura 6. Envío de solicitud de activación



Fuente: elaboración propia.

- e. Una vez enviada la solicitud, se le responderá con una clave para activar CrossWorks. En caso de que no llegue una respuesta inmediata a la solicitud enviada, debe tenerse en cuenta que el horario de Rowley Associates es de 9:00 a. m. a 5:00 p. m., de lunes a viernes (GMT), por tanto, es necesario acceder en este horario.
- f. Despues de haber obtenido la clave de activación, es necesario dirigirse a *Tools, License Manager* y seleccionar la opción *Activate CrossWorks* (figura 7).

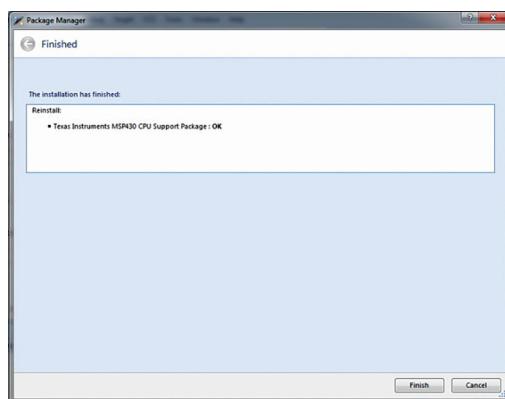
Figura 7. Activate CrossWorks



Fuente: elaboración propia.

- g. Al oprimir *Install License* aparece una ventana que muestra el estado de las licencias de las que se puede disponer. Se debe cerrar esta ventana.
- h. Del menú superior, seleccionar *Tools* y, enseguida, *Package Manager*. Hacer doble clic en el paquete MSP430 CPU Support Package. Presionar en el botón *Next*. Presionar el botón *Next* nuevamente, con lo que comenzará la instalación de dicho paquete. Una vez terminada la instalación, emerge la siguiente ventana (figura 8).

Figura 8. Instalación de paquetes



Fuente: elaboración propia.

- i. Luego de oprimir *Finish*, se habrá instalado correctamente el *software*.

Práctica 2. “Hola, mundo” en MSP430

Introducción: el uso de microcontroladores resulta imprescindible en la actualidad, más aún cuando se trata de satélites. Una de las prácticas más comunes al momento de iniciar en la programación de microcontroladores es la implementación de un programa elemental, denominado usualmente “Hola, mundo”, utilizado en todos los lenguajes de programación.

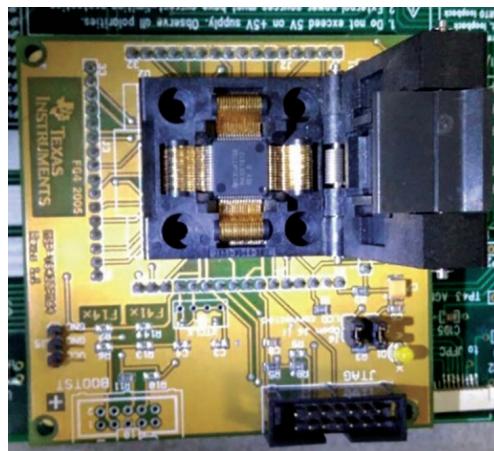
Objetivo: conocer y comprender la forma de programar microcontroladores MSP430, a través de las tarjetas de desarrollo.

Materiales: una tarjeta de desarrollo con sus componentes, y un computador.

Procedimiento:

- Verificar que dentro la tarjeta de cabecera haya un microcontrolador MSP430F1612. En caso de no ser así, ubicar uno, teniendo mucha precaución de que los pines estén en forma ordenada. Cerrar la tarjeta de cabecera (figura 9).

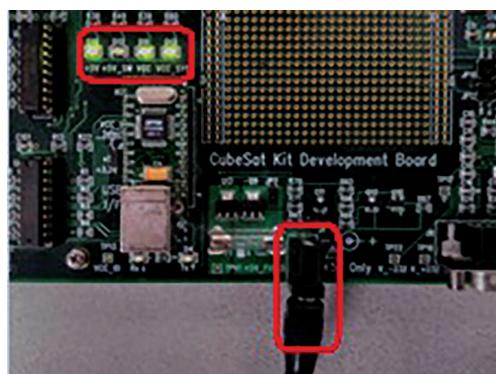
Figura 9. MSP430F1612 ubicado sobre tarjeta de cabecera



Fuente: elaboración propia.

- Conectar el adaptador externo como fuente de poder de 5,0 V al Jack J1 de la tarjeta de desarrollo. Deben encenderse los ledes D10, D11 y D13 (figura 10).

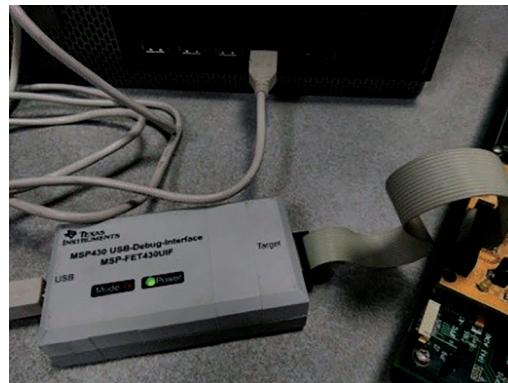
Figura 10. Energizar la tarjeta de desarrollo



Fuente: elaboración propia.

c. Por medio de la interfaz de programación y compilación MSP-FET430UIF, conectar la tarjeta de desarrollo al computador. En este momento, el led Power debe encenderse (figura 11).

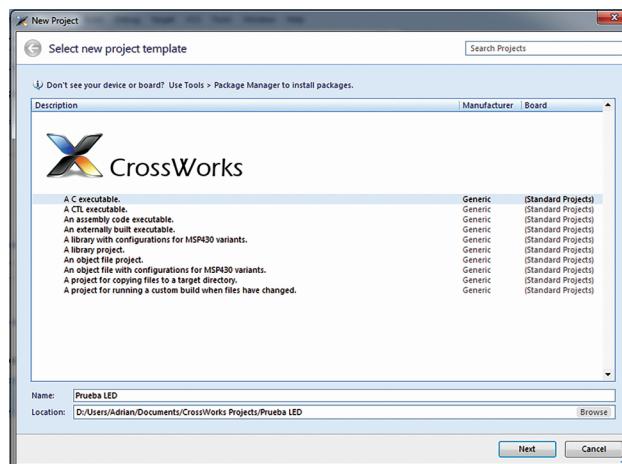
Figura 11. Conexión tarjeta de desarrollo a computador



Fuente: elaboración propia.

d. Ejecutar el *software* CrossStudio. En la barra de herramientas, poner el puntero sobre File y seleccionar New Project. Hecho eso, se desplegará una nueva ventana, en la que se debe seleccionar el ambiente de desarrollo que, en este caso, es ANSI C o C. Por último, es necesario proveer un nombre al proyecto y oprimir *Next* (figura 12).

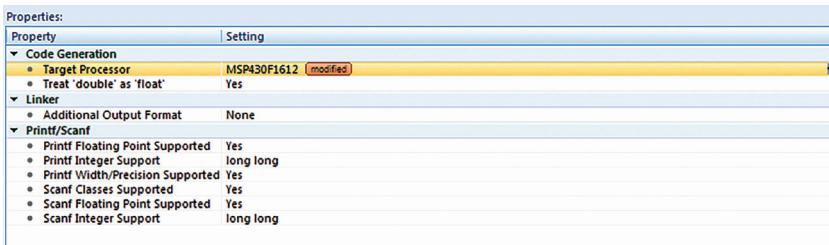
Figura 12. Ambiente de desarrollo



Fuente: elaboración propia.

e. Ahora, seleccionar el procesador que se va a programar. En particular, para el proyecto CubeSat-UD se optó por el MSP430F1612. Acto seguido, oprimir *Next* (figura 13).

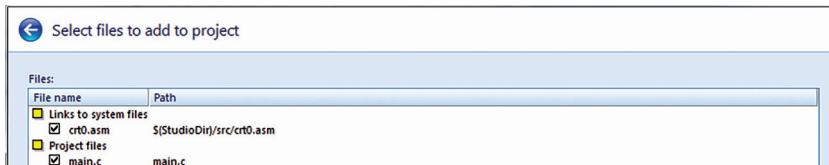
Figura 13. Procesador que se va a programar



Fuente: elaboración propia.

f. Configurar un Path, es decir, una ruta de directorios al proyecto que se acaba de crear. Enseguida, oprimir *Next* (figura 14).

Figura 14. Path de directorios



Fuente: elaboración propia.

g. Seleccionar las configuraciones para agregar al proyecto. Luego, oprimir *Finish*.

h. Con la finalidad de comprobar que es posible programar microcontroladores MSP430 con la tarjeta de desarrollo, se hace la prueba de encender y apagar un led. En este caso, el led que se encuentra sobre la tarjeta de cabecera. Para ello, se escribe el siguiente código en CrossStudio (figura 15).

Figura 15. Código para encender y apagar un led

```
/* Código que prende un LED espera un tiempo, luego apaga el LED.
En este caso usaremos el LED de la tarjeta que se encuentra en el pin 0 del puerto 1 (P1.0) */
#include <msp430.h> //inclusiones.
#include <inttypes.h>
#include <_cross_studio_io.h>
void main(){ //funcion principal

    WDTCTL= WDTPW+WDTHOLD;
    P1SEL= 0x00;
    P1DIR|= BIT0; //Salida el bit 0 del puerto 1

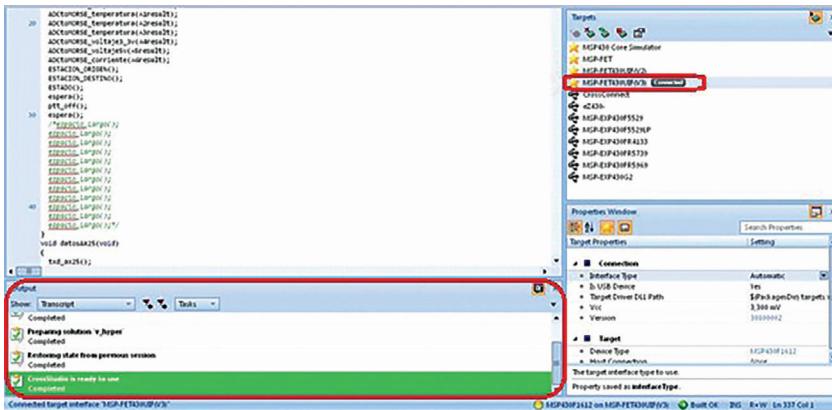
    P1OUT|=BIT0; //LED parte apagada

    while(1){ //Loop infinito
        P1OUT|=BIT0; //prende el LED
        __delay_cycles(100000); //espera
        P1OUT&=~BIT0; //apaga el LED
        __delay_cycles(100000); //espera
    }
}
```

Fuente: elaboración propia.

- En la barra de herramientas, poner el puntero sobre Target, luego sobre Connect; y seleccionar la opción MSP-FET430UIF(V3). El led Mode de la interfaz de programación debe encenderse y, en el computador, debe evidenciarse dicha conexión (figura 16).

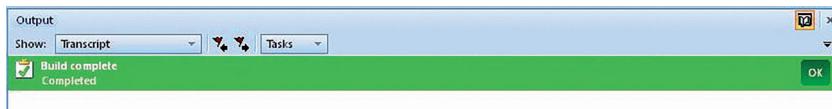
Figura 16. Interfaz de programación conectada correctamente



Fuente: elaboración propia.

- En la barra de herramientas, poner el puntero sobre *Build*. De la lista que se despliega, seleccionar *Build Solution*; en la ventana de Output debe aparecer el mensaje *Build complete* (figura 17).

Figura 17. Solución construida de manera correcta



Fuente: elaboración propia.

- k. Por último, poner el puntero sobre *Debug* y oprimir *Go*. Con esto, el led debe empezar a parpadear.

Capítulo 3. Pruebas según el estándar GSFC-STD-7000A

Práctica 1. Pruebas de respaldo de *hardware*

Es importante contar con un suministro de repuestos en el caso de la falla en alguna parte del *hardware* de vuelo. Como mínimo, los repuestos deben ser sometidos a la misma cantidad y tipo de pruebas a los que se somete el *hardware* definitivo para vuelo. Esto, con el fin de verificar que, en caso de necesitar alguno de estos repuestos, este responderá de manera satisfactoria. Es indispensable aclarar también que todos los equipos utilizados para las pruebas deberán estar calibrados de forma correcta, de acuerdo con lo señalado en las etiquetas y los manuales de cada uno de los equipos o elementos.

Práctica 2. Pruebas exhaustivas de rendimiento

Después de cada etapa de ensamblaje es necesario hacer una prueba exhaustiva de rendimiento. Estas pruebas se realizan en los extremos térmicos (muy alta y muy baja temperatura), o bien en condiciones de temperatura en el vacío, tanto para los mayores voltajes como para los menores.

Práctica 3. Desempeño en tiempos de funcionamiento y pruebas de funcionamiento libres de fallos

El *hardware* electrónico debe reunir mil horas de funcionamiento antes de su lanzamiento; en caso de tener sistemas redundantes, cada uno debe completar este tiempo. De esas mil horas, al menos 350 deben ser de funcionamiento libre de fallos; y de estas 350 horas al menos 200 deben ser de pruebas en el vacío. Durante las pruebas térmicas de vacío deben cumplirse al menos

cien horas libres de fallos a alta temperatura y cien horas libres de fallos a baja temperatura. Un cambio en el *hardware* principal invalida las pruebas anteriores y deben ser iniciadas nuevamente (Rodríguez y Aparicio, 2017).

Práctica 4. Clasificación de las cargas estructurales

Deben tenerse en cuenta pruebas con modelos, calificación de la resistencia del diseño, confiabilidad estructural que incluye todo lo relacionado con las estructuras primarias y secundarias, como las estructuras de berilio, compuestos no metálicos, estructuras metálicas tipo panal, uniones estructurales, piezas soldadas y requerimientos del control de fracturas.

Práctica 5. Calificación vibroacústica

Uno de los objetivos del Proyecto CubeSat es garantizar la seguridad de todos los satélites durante el lanzamiento. Para lograr esto, es necesario realizar pruebas de vibración a cada componente del picosatélite, con el fin de garantizar que su *hardware* no dañará los satélites bajo las peores condiciones ambientales esperadas durante el lanzamiento. El ambiente vibroacústico debe tener un límite mínimo que garantice unos niveles mínimos de probabilidad. El límite de clasificación se define como un nivel mínimo de vuelo de +3dB (Rodríguez y Aparicio, 2017).

Los componentes de *hardware* delicados como los ópticos, sensores, detectores y demás deben tener pruebas limitadas, teniendo cuidado de no destruirlos.

Práctica 6. Clasificación del barrido de vibración sinusoidal

Las pruebas de vibración con barrido sinusoidal deben hacerse en todo el *hardware* expuesto a entornos de vibraciones sinusoidales transitorias o sostenidas, las cuales, por lo regular, representan una pequeña parte de las vibraciones de un ambiente vibroacústico. Para estas pruebas, deben tenerse en cuenta los niveles mínimos de probabilidad (National Aeronautics and Space Administration [NASA], 2013); el rango típico de frecuencias para las pruebas sinusoidales es de 5,0 a 50 Hz, pero puede variar dependiendo de los parámetros del lanzador (Rodríguez y Aparicio, 2017).

Práctica 7. Calificación de las pruebas de choque

En la definición de choque mecánico se consideran los autoinducidos y los exteriores.

Pruebas de choque mecánico en subsistemas. Todos los subsistemas e instrumentos deben ser calificados por el sistema de choques mecánicos. Las pruebas de choque de los subsistemas son (1) choque autoinducido, (2) choque inducido externamente y (3) pruebas de configuración y desempeño. Con estas pruebas, se busca evaluar la resistencia de los materiales, en especial, las estructuras que serán lanzadas al espacio.

Práctica 8. Requerimientos de compatibilidad electromagnética

La carga útil y sus subsistemas no deben generar ni ser susceptibles a interferencias electromagnéticas que afecten sus propios subsistemas y componentes, otras cargas útiles, la seguridad y el funcionamiento del vehículo y el lugar de lanzamiento, independientemente de si son autogeneradas, externas o intencionales. Esto, con el fin de garantizar el óptimo funcionamiento y la mínima afectación a otros sistemas, pues se sabe que, en general, en temas de comunicaciones, la incompatibilidad electromagnética representa un alto índice de fallo debido a que influye de manera permanente en el establecimiento de enlaces y comunicación. Para ello, se realizan pruebas de interferencia electromagnética a cada uno de los submódulos que componen el picosatélite, para encontrar defectos en el diseño, defectos de fabricación o cualquier eventualidad que implique problemas al momento del lanzamiento.

Práctica 9. Requerimientos de presión

La precisión en la cámara de descompresión, después de la descarga por control eléctrico, debe ser inferior a $1,33 \times 10^{-3}$ pascales (Rodríguez y Aparicio, 2017).

Práctica 10. Requerimientos de vacío, térmicos y humedad

- La carga debe desempeñarse de manera satisfactoria dentro de los límites de vacío y de temperatura durante la misión.

- El diseño y el sistema de control térmicos deben mantener el *hardware* dentro de los límites establecidos para la misión durante todas las fases.
- El *hardware* debe soportar, en caso de ser necesario, la temperatura y la humedad, las condiciones de transporte, el almacenamiento, la puesta en marcha, el vuelo y los espacios habitados.
- La calidad de la mano de obra y los materiales de *hardware* debe ser adecuada para superar las pruebas de detección de ciclo térmico en el vacío, la insensibilidad a los efectos de vacío con respecto a los niveles de temperatura y los gradientes de temperatura.

Práctica 11. Calificación del balance térmico

El adecuado diseño térmico y la capacidad del sistema de control se verifica, en el peor de los casos, en los límites de temperatura fríos y calientes y en cualquier otro contexto necesario. La temperatura de los componentes debe ser estable a lo largo de todas las etapas del ciclo de vida operacional del satélite, incluyendo lanzamiento, separación, puesta en servicio, operaciones normales, modos de seguridad y descomposición.

Práctica 12. Verificación de temperatura-humedad

Si el entorno es tal que puede producirse condensación, las pruebas se llevarán a cabo para demostrar que el *hardware* puede funcionar en las condiciones más severas que puedan esperarse, de manera creíble. El *hardware* debe ser ensayado a temperatura y humedad relativa, en condiciones, al menos, de 10 °C y 10% de humedad relativa, por encima de los límites esperados durante la misión.

Sin embargo, las condiciones de humedad superiores no deben superar el 95 % de humedad relativa, a menos de que la condensación pueda ocurrir durante la misión. En tal caso, es necesario efectuar ensayos para demostrar que el *hardware* puede funcionar correctamente después de dicha exposición (Rodríguez y Aparicio, 2017).

Capítulo 4. Prácticas de laboratorio para la estación terrena

Práctica 1. Protocolo para bajar las antenas y los rotores

Introducción: esta, más que una práctica, es una guía del protocolo que debe seguirse para bajar de la torre de la estación terrena todos los implementos que hay en ella y, de ese modo, realizar pruebas en tierra.

Objetivo: llevar a cabo efectivamente el desarme de la estación terrena con base en el protocolo de bajada.

Materiales:

- Una cinta autofundente
- Un juego de arnés
- Un freno
- Una polea
- Una cuerda
- Un juego de herramientas
- Una eslinga de posicionamiento con absorbedor de impacto
- Un freno para línea de vida o arrestador
- Un par de guantes
- Un canguro para herramientas
- Un par de botas con protección en la punta
- Cascos

Procedimiento:

Nota

- El procedimiento descrito a continuación muestra, de manera sucinta, las tareas que deben realizarse para bajar las antenas y los rotores de la cima de la torre de la estación terrena del proyecto CubeSat-UD.
- Se recomienda que esta práctica sea realizada cada dos años, para mantenimiento preventivo o en caso de que la estación terrena presente fallas. Esto, con el fin de manipular los implementos lo menos posible.
 - a. Conseguir, como mínimo, dos personas con certificación en alturas. Una será la encargada de subir a la torre; mientras que la otra persona estará encargada de supervisar que todas las normas se cumplan, desde tierra.
 - b. La persona encargada de subir a la torre debe ponerse tanto el juego de arnés como todos los implementos complementarios. Simultáneamente, todas las personas involucradas en esta práctica tienen que utilizar casco.
 - c. Una vez la persona encargada en escalar la torre haya ascendido en su totalidad, debe ubicar la polea y la cuerda, con el fin de bajar todos los elementos que se encuentren en la cima de la torre.
 - d. Con el juego de herramientas, es fundamental desanclar la antena de VHF y sujetarla firmemente a la cuerda. Luego, con ayuda del equipo de trabajo en tierra, se debe bajar la antena lentamente hasta que esta toque el suelo.
 - e. Realizar el mismo procedimiento del literal d para la antena de UHF.
 - f. Desanclar el mástil y sujetarlo firmemente a la cuerda. Bajar el mástil lentamente hasta que el equipo de trabajo que está en tierra lo reciba.
 - g. Sujetar firmemente con la cuerda uno de los rotores, luego deslizarlo paulatinamente hasta que el equipo de trabajo en tierra lo reciba.
 - h. Realizar el mismo procedimiento del literal g para el rotor faltante.
 - i. Luego de desinstalar todos los equipos, proteger todos los conectores con cinta autofundente y cinta aislante. Esto se hace con el fin de

proteger contra la lluvia o corrosión que pueda generarse si estos elementos quedan a la intemperie.

- j. La persona certificada en alturas deberá percibirse de que todo lo que está en la cima de la torre esté debidamente asegurado. En caso de que algo no lo esté, es necesario que lo asegure firmemente.
- k. Solo posteriormente, esta persona podrá descender a tierra.

Práctica 2. Pruebas de continuidad para las antenas de VHF y UHF

Introducción: esta práctica solo podrá efectuarse en caso de que esté realizándose un mantenimiento preventivo o bien de que la estación terrena presente fallos y se quiera identificarlos. Aunque en teoría estas pruebas son sencillas, en caso de encontrar dificultades no será posible realizar las restantes pruebas de la estación terrena. Por esto, es indispensable que estas pruebas se lleven a cabo con total certeza de que están bien.

Objetivo: realizar pruebas de continuidad para las antenas de VHF y UHF.

Materiales:

- Una antena Yagi de VHF
- Una antena Yagi de UHF
- Un multímetro
- Una llave expansiva
- Un destornillador de estrella
- Un cautín y soldadura

Procedimiento:

Figura 18. Balun y conectores de la antena de VHF



Fuente: elaboración propia.

- a. Con el multímetro, medir la continuidad entre los dipolos de la antena de VHF. Los dipolos deben presentar continuidad entre sí.
- b. Con la llave expansiva, desajustar los conectores que se aprecian en la figura 18.
- c. Para cada conector, verificar que hay continuidad entre sus *tierras* usando el multímetro. Posteriormente, verificar que hay continuidad entre sus *vivos*. Por ninguna razón debe haber continuidad entre un *vivo* y una *tierra*. En caso de ser así, se entenderá que el conector presenta un cortocircuito, por lo que deberá ser reparado o, en su defecto, reemplazado.
- d. Desatornillar el balun de la antena.
- e. Comprobar que haya continuidad entre los *vivos* del balun usando el multímetro. Realizar el mismo procedimiento con sus *tierras*. En caso de que se presente continuidad entre un *vivo* y una *tierra* se entenderá que hay un cortocircuito, de modo que será necesario abrir el balun con la llave expansiva, como se aprecia en la figura 19. Posteriormente, se debe verificar donde se presenta el cortocircuito y repararlo.

Figura 19. Balun abierto

Fuente: elaboración propia.

- f. Una vez el balun funcione de forma correcta, es necesario atornillarlo nuevamente a la antena y volver a ubicar los conectores a esta.
- g. Finalmente, realizar el procedimiento descrito también para la antena de UHF.

Práctica 3. Pruebas de impedancia para la antena de VHF

Introducción: con el fin de verificar los parámetros y las características de una antena, es necesario realizar pruebas de impedancia, de pérdidas de retorno y relación de onda estacionaria de voltaje (VSWR). Cabe resaltar que, para realizar esta prueba de forma óptima, debe instalarse el *software* Anritsu Software Tool Box.

Objetivo: realizar pruebas de impedancia, de pérdidas de retorno y relación de onda estacionaria de voltaje (VSWR) de la antena de VHF.

Materiales:

- Una antena Yagi de VHF
- Un VNA Anritsu
- Un cable de extensión del puerto de prueba N (macho) – N (hembra)
- Un adaptador N (macho) – N (macho)
- Un adaptador N (macho) – UHF (hembra)
- Una USB
- Un computador

Procedimiento:

- a. En caso de que la antena se encuentre en tierra, colocarla sobre una estructura que la mantenga lo más alejada posible del suelo, como se muestra en la figura 20. En caso de que se encuentre sobre la torre, se debe usar el cable de bajada que está en la sala GITEM.

Figura 20. Antena de VHF a 2,2 metros de altura



Fuente: elaboración propia.

- b. Encender el VNA Anritsu y ajustar una ventana de frecuencias (span) para realizar las mediciones. Para esto, se aconseja utilizar como frecuencia central 150 MHz y, por último, se recomienda no usar un span por encima de 100 MHz.
- c. Calibrar el VNA Anritsu.
- d. Conectar el cable de extensión del puerto de prueba al VNA Anritsu, como se muestra en la figura 21.

Figura 21. Conexión cable de extensión al VNA Anritsu



Fuente: elaboración propia.

- e. En caso de que la antena se encuentre en tierra se debe conectar el adaptador N (macho) – N (macho) al cable de extensión del puerto de prueba. En caso de que la antena se encuentre en la torre, conectar el adaptador N (macho) – UHF (hembra), según se muestra en las figuras 22 y 23.

Figura 22. Cable de extensión con conector N–N



Fuente: elaboración propia.

Figura 23. Cable de extensión con conector N–UHF



Fuente: elaboración propia.

- f. En caso de que la antena esté en tierra, conectarla directamente al VNA Anritsu. En caso de que la antena esté en la torre, conectarla al VNA Anritsu a través del cable de bajada.
- g. Utilizando el VNA Anritsu, medir las pérdidas de retorno en la frecuencia que presente el mejor resultado y guardar el resultado en el dispositivo USB.
- h. Utilizando el VNA Anritsu, medir el VSWR en la frecuencia que presente el mejor resultado; enseguida guardar el resultado en el dispositivo USB.
- i. Utilizando el VNA Anritsu, medir la impedancia de la antena teniendo en cuenta la carta de Smith en la frecuencia que presente el mejor resultado; y guardar los resultados en el dispositivo USB.
- j. Conectar el dispositivo USB a un computador, en el que esté instalado el *software* Anritsu *Software Tool Box* y abrir los archivos.
- k. Concluir a partir de los resultados obtenidos.

Práctica 4. Pruebas de impedancia para la antena de UHF

Introducción: con el fin de verificar los parámetros y las características de una antena es necesario realizar pruebas de impedancia, pérdidas de retorno y relación de onda estacionaria de voltaje (VSWR). Cabe resaltar que, para hacer esta prueba de forma óptima, se debe instalar el *software* Anritsu *Software Tool Box*.

Objetivo: realizar pruebas de impedancia, pérdidas de retorno y relación de onda estacionaria de voltaje (VSWR) de la antena de UHF.

Materiales:

- Una antena Yagi de UHF
- Un VNA Anritsu
- Un cable de extensión del puerto de prueba N (macho) – N (hembra)
- Un adaptador N (macho) – N (macho)
- Un adaptador N (macho) – UHF (hembra)

- Una USB
- Un computador

Procedimiento:

- a. En caso de que la antena se encuentre en tierra, colocarla sobre una estructura que la mantenga lo más alejada posible del suelo, como se muestra en la figura 24. En caso de que se encuentre sobre la torre, usar el cable de bajada que está en la sala GITEM.

Figura 24. Antena de UHF a 2,2 metros de altura



Fuente: elaboración propia.

- b. Encender el VNA Anritsu y ajustar una ventana de frecuencias (span) para realizar las mediciones. Para esto, se aconseja utilizar como frecuencia central 450 MHz; se recomienda no utilizar un span por encima de 100 MHz.
- c. Calibrar el VNA Anritsu.
- d. Conectar el cable de extensión del puerto de prueba al VNA Anritsu.
- e. En caso de que la antena se encuentre en tierra, conectar el adaptador N (macho) – N (macho) al cable de extensión del puerto de prueba. En caso de que la antena esté en la torre, conectar el adaptador N (macho) – UHF (hembra).

- f. En caso de que la antena se encuentre en tierra, conectarla directamente al VNA Anritsu. En caso de que la antena esté en la torre, conectarla al VNA Anritsu a través del cable de bajada.
- g. Utilizando el VNA Anritsu, medir las pérdidas de retorno en la frecuencia que presente el mejor resultado, guardar los resultados en el dispositivo USB.
- h. Utilizando el VNA Anritsu, medir el VSWR en la frecuencia que presente el mejor resultado; guardar los datos en el dispositivo USB.
- i. Utilizando el VNA Anritsu, medir la impedancia de la antena mediante la carta de Smith en la frecuencia que presente el mejor resultado; guardar los datos en el dispositivo USB.
- j. Conectar el dispositivo USB a un computador, en el que esté instalado el *software* Anritsu *Software Tool Box*, y abrir los archivos.
- k. Concluir a partir de los resultados obtenidos.

Práctica 5. Pruebas de potencia y SWR para las antenas de VHF y UHF

Introducción: es necesario verificar la potencia de salida para evaluar si es posible garantizar el establecimiento de un enlace. Por tanto, debe efectuarse una conexión adecuada de los equipos para realizar las mediciones de potencia tanto hacia adelante como reflejada; y por último, la medición de SWR.

Objetivo: realizar pruebas de potencia de salida de RF que se aplica desde el transceptor a las antenas, así como la relación de onda estacionaria (SWR) de la antena de VHF y de UHF. Estas pruebas se realizan en modo transmisión.

Materiales:

- Una antena Yagi de VHF
- Un cable coaxial RG-58 con conectores UHF macho
- Un transceptor Kenwood TM-D700
- Un panel frontal Kenwood TM-D700

- Un micrófono Kenwood TM-D700
- Una fuente de voltaje Diamond Antenna GZV4000
- Un medidor de potencia y SWR Diamond Antenna SX-400

Procedimiento:

Nota:

- El transmitir sin haber conectado primero la antena u otra carga equilibrada puede dañar al transceptor. Siempre conecte primero la antena al transceptor antes de transmitir.
- Para la selección de la potencia es preferible seleccionar una potencia baja si la comunicación es todavía fiable. Esto disminuye la posibilidad de que se interfiera con otros en la banda.
- El rango RF de potencia está determinado por el transceptor.

1. Conexión de los equipos

- a. Siguiendo la indicación previamente enunciada, el primer paso a realizar es conectar el transceptor al medidor de potencia usando el cable coaxial con conectores UHF macho. El cable debe ser conectado al terminal TX del medidor de potencia (figura 25).

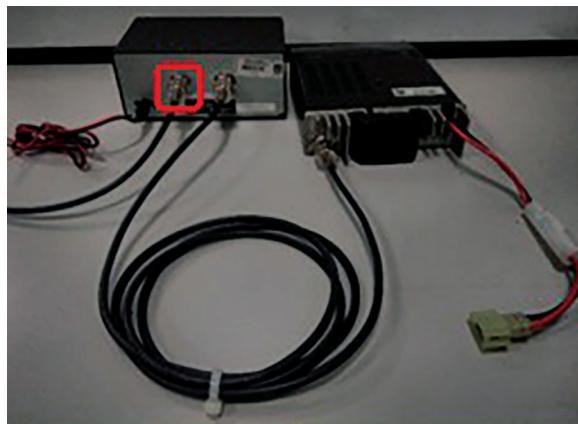
Figura 25. Conexión del medidor de potencia y transceptor



Fuente: elaboración propia.

- b. Conectar la antena que se vaya a utilizar, sea la antena de VHF o la de UHF, al medidor de potencia en el terminal ANT (figura 26).

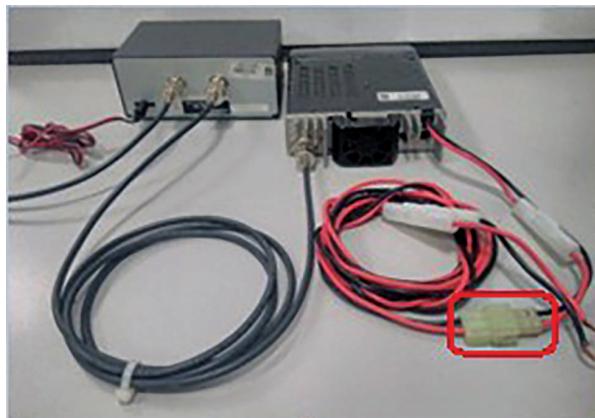
Figura 26. Conexión de la antena al medidor de potencia



Fuente: elaboración propia.

- c. Conectar el cable de alimentación DC al transceptor (figura 27).

Figura 27. Conexión del cable de alimentación DC al transceptor



Fuente: elaboración propia.

- d. Empleando la fuente de voltaje GZV4000, alimentar el SX-400 y el transceptor (figuras 28 y 29). En este punto, la fuente debe permanecer apagada.

Figura 28. Conexión de la fuente GZV4000 al SX-400



Fuente: elaboración propia.

Figura 29. Conexión de la fuente GZV4000 al transceptor



Fuente: elaboración propia.

- e. Utilizando el cable de enchufe modular, conectar el panel frontal al transceptor. Para esto, es necesario conectar el cable al puerto PANEL del transceptor. Simultáneamente, conectar el micrófono al transceptor por el puerto MIC (figura 30).

Figura 30. Conexión panel frontal y micrófono al transceiver



Fuente: elaboración propia.

f. Encender la fuente de poder GZV4000 y el panel frontal. El transceptor está diseñado para funcionar con una alimentación de 13,8 voltios (figura 31). Importante: no utilizar una batería de 24 voltios para suministrar la energía eléctrica al transceptor (Kenwood Corporation, 2018).

Figura 31. Medidor de potencia y transceptor encendidos



Fuente: elaboración propia.

2. Medición de la potencia RF hacia adelante (*Precision SWR-Power Meter, 2018*)

La potencia RF hacia adelante indica la cantidad de potencia que puede propagar la antena que está siendo evaluada. Por tanto, cuanta mayor

potencia hacia adelante haya, mayor será la eficiencia de la antena (Kenwood Corporation, 2018).

Figura 32. SWR & Power Meter



Fuente: elaboración propia.

- g. Como puede apreciarse en la figura 32, hay tres interruptores que pueden utilizarse. En este caso, la magnitud que se va a medir es la potencia, por tanto, es necesario ajustar el interruptor FUNCTION a la posición POWER.
- h. La potencia que va a medirse se denomina potencia hacia adelante, o bien potencia transmitida, por consiguiente, el interruptor POWER debe colocarse en la posición FWD (abreviación de *forward*, es decir, adelante).
- i. Ajustar el interruptor RANGE dependiendo del rango de potencia de RF apropiado. Dependiendo del rango de potencia que se escoja hay una escala en la pantalla en la cual debe basarse.
- j. Presionar el botón PTT que está a un costado del micrófono y mantenerlo oprimido. De esta forma, el medidor de potencia indicará la potencia RF hacia adelante.

3. Medición de la potencia RF reflejada

La potencia reflejada indica la cantidad de potencia de transmisión que no puede propagarse. Contrario a lo que se espera de la potencia transmitida, lo ideal es que la potencia reflejada sea mínima. Por tanto, cuanto menor sea su valor, mejor eficiencia tendrá la antena que estemos evaluando.

- k. Ajustar el interruptor FUNCTION a la posición POWER.
- l. En este caso, la potencia que va a medirse es la reflejada. Por consiguiente, el interruptor POWER debe colocarse en la posición REF.
- m. Ajustar el interruptor RANGE dependiendo del rango de potencia de RF apropiado.
- n. Presionar el botón PTT, ubicado a un costado del micrófono, y mantenerlo oprimido. De esta forma, el medidor de potencia indicará la potencia RF reflejada.
- o. En caso de que el medidor no indique ningún valor, ajustar el interruptor a un rango menor y repetir el paso anterior.

4. Medición de SWR

- p. Ajustar el interruptor FUNCTION a la posición CAL.
- q. Girar la perilla CAL en sentido contrario al de las manecillas del reloj, completamente, hasta que se encuentre en la posición MIN.
- r. Girar la perilla CAL en el mismo sentido de las manecillas del reloj hasta que la aguja apunte hacia la posición “▼”.
- s. Oprimir el botón PTT del micrófono y mantenerlo oprimido. Simultáneamente, ajustar el interruptor FUNCTION a la posición SWR. De esta forma, la aguja indicará el SWR de la antena. Es importante que se tenga en cuenta que hay dos escalas para la lectura del SWR: H y L. Si la lectura obtenida para la potencia transmitida es menor a 5 W, entonces usar la escala L; mientras que si es mayor a 5 W, usar la escala H.
- t. Por último, calcular el valor de SWR, con la siguiente ecuación.

$$SWR = \frac{\sqrt{P_{tx}} + \sqrt{P_{ref}}}{\sqrt{P_{tx}} - \sqrt{P_{ref}}} \quad (\text{Ecuación 1})$$

- u. Comparar los resultados obtenidos en los literales r y s y concluir.

Práctica 6. Valoración física de los rotores

Introducción: la valoración física de los rotores es el primer acercamiento al funcionamiento del sistema mecánico de la estación terrena.

Objetivo: realizar una revisión física del estado de los rotores, con el fin de evidenciar cualquier anomalía presente en su estructura o en sus partes externas.

Materiales:

- Un rotor de azimut
- Un rotor de elevación
- Un cable multipar
- Un conector circular de siete pines
- Un multímetro

Procedimiento:

- a. Una vez se tengan los rotores en tierra deben valorarse los equipos de manera física, es decir, verificar que no presenten ninguna característica que los haga ver diferentes a lo que muestra la figura 33. Por ello, hay que tener en cuenta si existe presencia de óxido, algún tipo de golpe o que haga falta alguna pieza, tal como tornillos, rodamientos, tuercas o cualquier parte indispensable. Cabe aclarar que esta solo es una revisión básica y superficial, dado que, en caso de presentarse alguna falla, ello será evidente en las pruebas descritas más adelante.

Figura 33. Rotores de elevación y azimut



Fuente: tomado de Instruction Manual G-5500 (2018).

b. Con el multímetro, verificar que exista continuidad entre cada hilo en punta y los pines del conector metálico de siete pines (figura 34), teniendo en cuenta que la equivalencia entre pines e hilos es la siguiente:

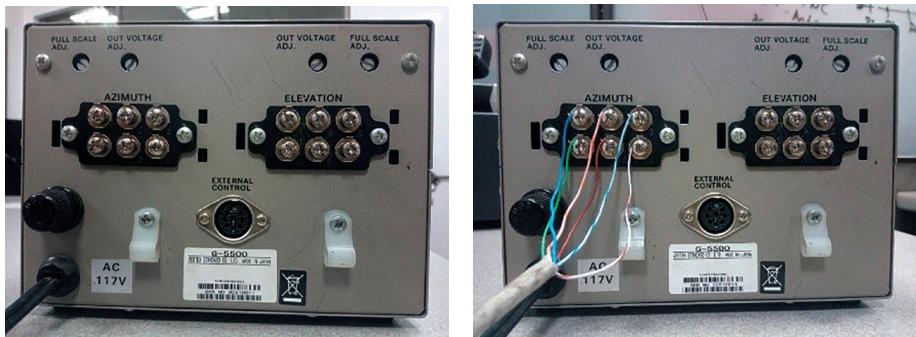
- Pin 1: hilo azul
- Pin 2: hilo blanco-naranja
- Pin 3: hilo blanco-azul
- Pin 4: hilo verde
- Pin 5: hilo café
- Pin 6: hilo blanco-café
- Pin 7: hilo blanco-verde

Figura 34. Conector metálico de siete pines



Fuente: elaboración propia.

c. Los hilos que quedaron en punta deben ser conectados en la parte posterior del controlador, en el que se encontrará un arreglo de seis tornillos enumerados que deben coincidir con los números previamente puestos en los hilos. Al respecto, es importante mencionar que el pin 7 del conector no se usa, por tanto, solo es necesario conectar los seis hilos restantes (figura 35).

Figura 35. Controlador parte posterior antes y después de conectar

Fuente: elaboración propia.

Práctica 7. Establecimiento de comunicación serial

Introducción: a fin de tener el control remoto de los rotores es necesario establecer una comunicación de tipo serial entre el computador y el controlador G5500.

Objetivo: realizar las conexiones entre equipos para su correcto funcionamiento antes de la calibración. Además, establecer una primera comunicación serial entre el computador y la interfaz GS-232B.

Materiales:

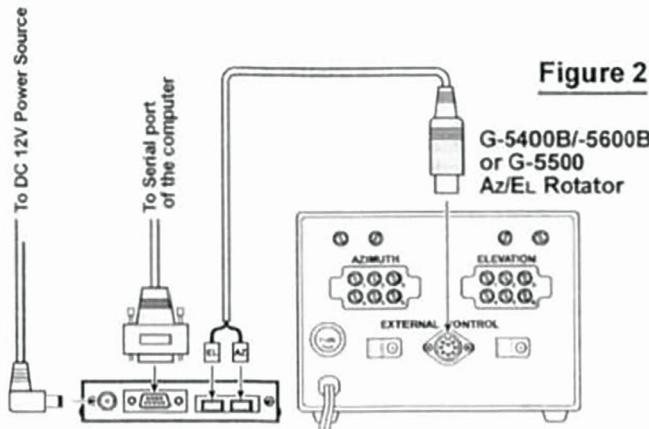
- Un rotor de azimut
- Un rotor de elevación
- Un controlador de rotores de elevación y azimut G5500
- Una interfaz de control serial GS-232B
- Una interfaz de comunicación serial para computador
- Un cable conversor USB-serial
- Un adaptador de 12 voltios DC para GS-232B
- Un conector circular de siete pines
- Un cable de control (controlador-rotores)

Procedimiento:

Nota: para su calibración, los rotores deben estar previamente conectados al controlador en la parte posterior; esto se logra usando el cable multipar. Por tanto, es indispensable haber realizado la práctica anterior.

- a. Realizar las conexiones que se muestran en la figura 36 para iniciar la configuración y la calibración de cada rotor. Las conexiones son descritas a continuación:
 - Enchufar uno de los extremos del adaptador de 12 voltios DC a la toma y el otro extremo en la parte trasera del GS-232B.
 - Conectar el cable de control entre el controlador de los rotores (EXTERNAL CONTROL) y el GS-232B. Es importante que se tenga cuidado de hacer coincidir las etiquetas AZ y EL en el cable con las mismas etiquetas en el panel posterior del GS-232B.
 - Por último, conectar el adaptador serial-USB, comunicando el GS-232B en la parte posterior con un puerto USB cualquiera del computador.

Figura 36. Esquema de conexión rotores, interfaz de control y controlador



Fuente: tomado de GS-232B. Computer Control Interface for Antenna Rotators (2018).

- b. Con un computador y una interfaz serial, como Hyperterminal, Putty o Teraterm, entre otras (la de preferencia de quien hace la práctica), establecer una comunicación serial entre el computador y el GS232B, creando una nueva conexión (figura 37). Para la ejemplificación se decidió usar

Hyperterminal, sin embargo, la configuración ofrecida y mostrada a continuación funciona sin importar la interfaz serial que se use.

Figura 37. Creación de nueva conexión serial



Fuente: elaboración propia.

c. A continuación, seleccionar el puerto que se va a utilizar teniendo en cuenta que este puerto debe ser el mismo al cual está conectado el controlador serial GS-232B. El número del puerto puede verificarse en el administrador de dispositivos de Windows (figura 38).

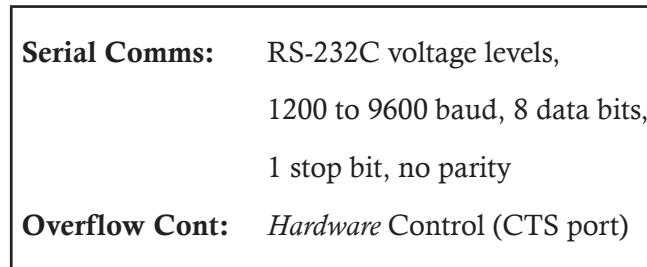
Figura 38. Selección de puerto a utilizar



Fuente: elaboración propia.

d. Establecer una configuración 9600-8-N-1-*Hardware*, donde 9600 es la cantidad de bits por segundo, 8 es la cantidad de bits de datos, N indica que no existe paridad de ningún tipo, 1 indica el bit de parada y el control de flujo está determinado por el *Hardware* (figuras 39 y 40).

Figura 39. Configuración de comunicación serial (tomada del manual)



Fuente: tomado de GS-232B. Computer Control Interface for Antenna Rotators (2018).

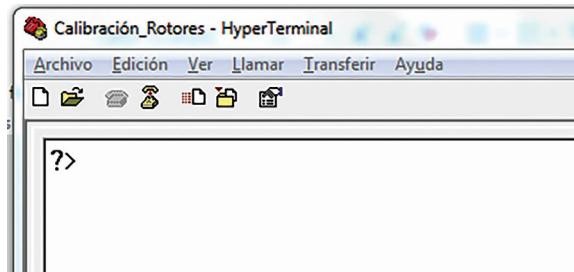
Figura 40. Configuración de parámetros necesarios para comunicación serial



Fuente: elaboración propia.

e. Oprimir la tecla Enter para recibir una señal de confirmación, la cual se representa con un signo de interrogación (figura 41).

Figura 41. Señal de confirmación de establecimiento de comunicación serial



Fuente: elaboración propia.

Práctica 8. Calibración y puesta a punto de rotores

Introducción: luego de que los rotores hayan sido bajados de la cima de la torre es necesario realizar su calibración y puesta a punto, a fin de evaluar su comportamiento y, de esta manera, reintegrarlos a la estación terrena.

Objetivo: calibrar los rotores usando la comunicación serial previamente establecida y evaluar físicamente el movimiento de los rotores en tierra.

Materiales:

- Un rotor de azimut
- Un rotor de elevación
- Un controlador de rotores de elevación y azimut G5500
- Una interfaz de control serial GS-232B
- Una interfaz de comunicación serial para computador
- Un cable conversor USB-Serial
- Un adaptador 12 voltios DC para GS-232B
- Un conector circular de siete pines
- Un cable de control (controlador-rotores)
- Un computador
- Un destornillador de pala

Procedimiento:

Luego de que exista comunicación confirmada, deben calibrarse uno a uno los rotores de elevación y azimut. Para ello, es fundamental realizar el siguiente paso a paso, basado en las especificaciones del fabricante obtenidas del manual del equipo.

- a. Anulación de *offset* azimut. Desde el panel del controlador, configurar el rotor completamente en sentido contrario a las agujas del reloj, ajustado en los cero grados (0°).

Figura 42. Azimut ajustado en cero grados (0°)



Fuente: elaboración propia.

- b. En la interfaz serial presione la letra O, seguida de Enter para activar la rutina de calibración de azimut (figura 42). La pantalla del computador debe mostrar “Are you sure? Yes or no”. Presione la letra Y, seguida de un Enter; con esta acción se obtendrá:
 - El valor actual de *offset* de azimut (AZoffset=aaa)
 - Los datos de calibración guardados
 - El mensaje “Completed”
 - La rutina de calibración de azimut finalizada

Figura 43. Anulación de *offset* azimut

```

?>
Azoffset
are you sure? yes or no
Azoffset=008
Completed
?>

```

Fuente: elaboración propia.

- Calibración conversor análogo-digital de azimut. Desde el panel del controlador, configurar el rotor de azimut completamente, en el sentido de las agujas del reloj (figura 44).

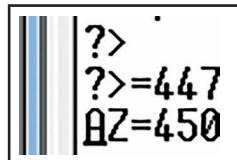
Figura 44. Rotor de azimut ajustado a la derecha

Fuente: elaboración propia.

- Presionar la tecla F, seguida de Enter, para activar la rutina de calibración del convertidor A-D azimutal de la interfaz de control. La pantalla del computador debe mostrar “AZ = aaa”; “aaa” es un número de tres dígitos que indica la ubicación exacta del azimut en grados.
- En la parte posterior del controlador, se debe ajustar el potenciómetro OUT VOLTAGE ADJ en el lado “AZIMUT”, hasta obtener una lectura de “450” en la pantalla del computador.

Esta lectura (“450 = 360 grados + 90 grados”) corresponde al valor real de azimut en grados, cuando se apuntó el rotor azimutal completamente en el sentido de las agujas del reloj. Presione Enter para salir de la rutina de calibración del convertidor A-D azimutal (figura 45).

Figura 45. Calibración de conversor A-D



Fuente: elaboración propia.

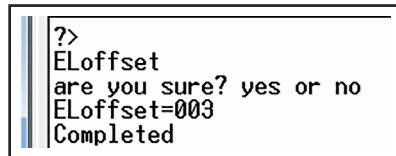
- f. Anulación de *offset* elevación. Desde el panel del controlador, configurar el rotor de elevación completamente en sentido contrario a las agujas del reloj; hacia abajo, configurado en 0° (figura 46).

Figura 46. Elevación ajustada en cero grados (0°)



Fuente: elaboración propia.

- g. Presionar la letra O y el número 2 (O2), seguidos por la tecla Enter para activar la rutina de calibración de elevación. La pantalla del computador debe mostrar “Are you sure? Yes or no” (figura 47). A continuación, presione la letra Y, seguida de Enter. Con esta acción se obtendrá:
 - El valor actual de *offset* de elevación (ELoffset=eee)
 - Los datos de calibración guardados
 - El mensaje “Completed”
 - La rutina de calibración de elevación finalizada

Figura 47. Anulación de *offset* de elevación

Fuente: elaboración propia.

h. Calibración conversor análogo-digital de elevación. Desde el panel del controlador, debe ajustarse el rotor de elevación a escala completa (180°), a la derecha (figura 48).

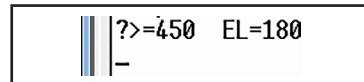
Figura 48. Rotor de elevación ajustado a la derecha

Fuente: elaboración propia.

i. Presionar la letra F y el número 2 (F2), seguidos por la tecla Enter, para activar la rutina de calibración del convertidor A-D de elevación de la interfaz de control. El computador mostrará “AZ=aaa EL=eee”, donde “eee” es un número de tres dígitos que indica el rumbo de la elevación en grados. Para efectos de esta alineación, puede ignorar los números (azimut) “aaa”.

j. En la parte posterior del controlador, ajustar el potenciómetro OUT VOL ADJ en el lado “ELEVATION”, hasta obtener una lectura de “180” en la pantalla de la computadora. Esta lectura (180°) corresponde a la ubicación real de elevación, cuando se apuntó el rotor de elevación completamente en el sentido de las agujas del reloj. Presionar nuevamente Enter para salir de la rutina de calibración del convertidor A-D de elevación (figura 49).

Figura 49. Calibración del conversor A-D (literales f y h)



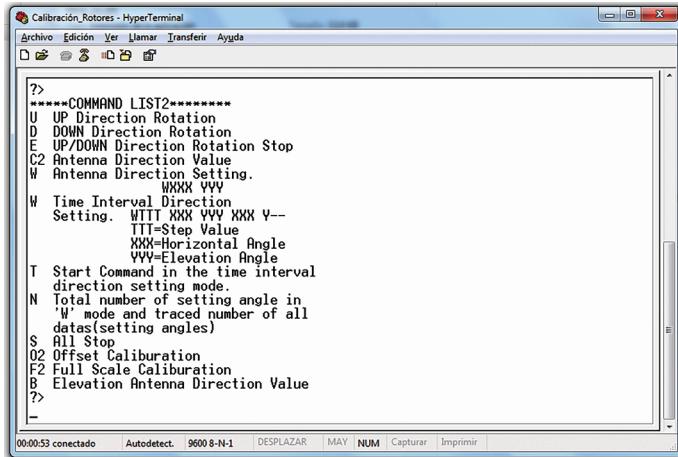
Fuente: elaboración propia.

k. Después de la instalación y calibración, la interfaz de control puede aceptar comandos ingresados directamente desde el teclado, o desde un programa escrito específicamente para soportarlo. Para obtener resúmenes breves de los comandos reconocidos por la interfaz de control en azimut presione H seguido de Enter, visualizará entonces una lista de comandos en elevación. Escriba H2 y Enter para observar la descripción de los dos posibles modos de configuración del elevador de azimut, entonces escriba H3 y Enter.

Tenga en cuenta que todos los comandos requieren que la tecla Enter sea presionada después de la letra de comando. También es necesario advertir que cualquier comando puede enviarse en mayúscula o minúscula. A continuación, se muestra el listado de comandos obtenidos al pulsar H, H2 o H3, respectivamente. Todos los ángulos están en grados y los enviados a la interfaz de control deben tener siempre tres dígitos; cuando sean números de menos de tres dígitos se completan con ceros a la izquierda (figuras 50 a 52).

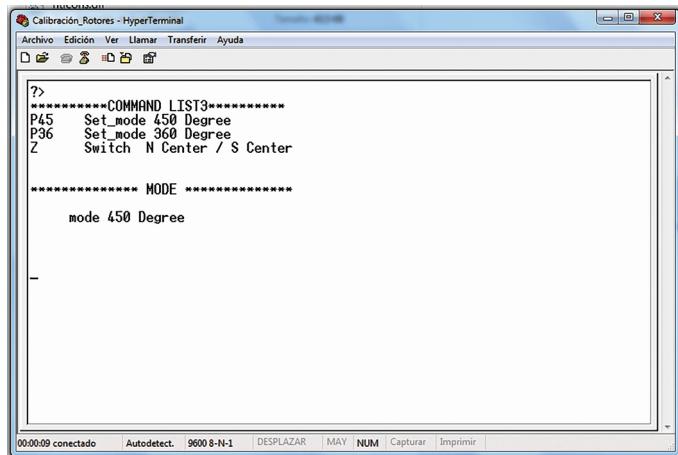
Figura 50. Lista de comandos azimut

Fuente: elaboración propia.

Figura 51. Lista de comandos elevación


```

?>
*****COMMAND LIST2*****
U UP Direction Rotation
D DOWN Direction Rotation
E UP/DOWN Direction Rotation Stop
C2 Antenna Direction Value
W Antenna Direction Setting.
W Time Interval Direction
Setting. WTTT XXXX VVVV YYY
TTT=Step Value
XXX=Horizontal Angle
YYY=Elevation Angle
T Start Command in the time interval
direction setting mode.
N Total number of setting angle in
'W' mode and traced number of all
datas(setting angles)
S All Stop
02 Offset Calibration
F2 Full Scale Calibration
B Elevation Antenna Direction Value
?>
-
```

Fuente: elaboración propia.**Figura 52.** Modos de configuración rotor azimut


```

?>
*****COMMAND LIST3*****
P45 Set_mode 450 Degree
P36 Set_mode 360 Degree
Z Switch N Center / S Center

***** MODE *****
mode 450 Degree
-
```

Fuente: elaboración propia.

1. Para finalizar, es fundamental hacer una consulta del tipo C2, con lo cual deberá el usuario obtener dos números de tres dígitos en la forma AZ=aaa EL=eee, los cuales indican cuáles son los valores de azimut y elevación respectivamente. Luego de conocer el valor de elevación y azimut, se debe verificar en el panel frontal del controlador de manera visual cuáles son los valores indicados. En caso de coincidir, se da por finalizada la calibración. Pero, si los valores difieren mucho uno del

otro, es necesario repetir el procedimiento de calibración de cada rotor hasta tener un resultado satisfactorio (en caso de querer conocer más acerca de los comandos de configuración de los rotores, ver el anexo 1).

Práctica 9. Pruebas de cableado y reinstalación de rotores

Introducción: esta es la prueba definitiva, en la cual se validará el funcionamiento de los cables que comunican la cima de la estación terrena con la sala GITEM. Además de realizar unas últimas pruebas de comunicación y funcionamiento, previas a la nueva instalación en la cima de la torre.

Luego de finalizar las pruebas de calibración en tierra, se deben reintegrar los rotores a la cima de la torre. Para ello, la persona certificada en alturas debe estar ubicada en la cima, y haciendo un trabajo en conjunto con el equipo que está realizando las pruebas en tierra, debe probar cada uno de los cables.

Objetivo: verificar el correcto funcionamiento de los cables que comunican el controlador desde la sala GITEM hasta la cima de la torre y reinstalar los rotores a esta.

Materiales:

- Un rotor de azimut
- Un rotor de elevación
- Un controlador de rotores de elevación y azimut G5500
- Una interfaz de control serial GS-232B
- Una interfaz de comunicación serial para computador
- Un cable conversor USB-serial
- Un adaptador 12 voltios DC para GS-232B
- Dos conectores circulares de siete pines
- Un cable de control (controlador-rotores)
- Un multímetro
- Una fuente DC
- Jumpers

Procedimiento:

Nota:

- Para realizar esta práctica es indispensable tener constante comunicación con la persona certificada en alturas que se encuentra en la cima de la torre.
- Esta prueba solo es necesaria cuando se esté realizando el mantenimiento de los rotores.
 - a. Conecte la fuente DC y fije un voltaje de 5 voltios.
 - b. Con la fuente regulada, conectar el terminal positivo y el terminal negativo a dos de los seis hilos del cable de azimut que llega a la sala GITEM. La persona que se encuentra en la cima de la torre debe comprobar, con un multímetro, en qué pines del conector metálico se obtiene este voltaje y dar por verificados estos hilos.
 - c. Repetir el procedimiento indicado en el inciso anterior para los cuatro hilos restantes, con lo cual se validará el funcionamiento y la continuidad de cada hilo que compone el cable de azimut.
 - d. Repetir el procedimiento indicado en los literales b y c para el cable de elevación.
 - e. Debido a que ya se ha comprobado el óptimo funcionamiento tanto de los rotores y el controlador como de los cables, pueden subirse nuevamente los rotores y ubicarlos donde estaban inicialmente. Enseguida, conectar todo y realizar pruebas desde el controlador que se encuentra en la sala GITEM, enviando órdenes de movimiento tanto en elevación como azimut. La persona certificada en alturas que se encuentra en la cima de la torre debe visualizar dichos movimientos. Al finalizar estas pruebas de movimiento, se da por terminada la ventana de mantenimiento y calibración de los rotores y pueden fijarse y asegurarse a la estructura de la torre nuevamente.

Práctica 10. Pruebas de transmisión

Introducción: en esta práctica podrá evidenciarse que aún en un medio tan dispersivo como Bogotá es posible establecer un enlace, gracias a la potencia proporcionada por el transceptor. Es importante mencionar que el

establecimiento de la comunicación es unidireccional, y va desde la estación terrena hacia el radio portátil. Por tanto, el radio portátil solamente está en la capacidad de recibir, pero no de transmitir.

Objetivo: verificar el establecimiento de un enlace entre la estación terrena de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y un radio localizado a más de diez kilómetros en línea recta.

Materiales:

- Un rotor de azimut
- Un rotor de elevación
- Un controlador de rotores de elevación y azimut G5500
- Una interfaz de control serial GS-232B
- Una interfaz de comunicación serial para computador
- Un cable conversor USB-serial
- Un adaptador 12 voltios DC para GS-232B
- Dos conectores circulares de siete pines
- Un cable de control (controlador-rotores)
- Una antena de VHF
- Un radio portátil
- Un transceptor Kenwood TM-D700
- Un panel frontal Kenwood TM-D700
- Un micrófono Kenwood TM-D700
- Una fuente de voltaje Diamond Antenna GZV4000

Procedimiento:

Nota:

- El transmitir sin haber conectado primero la antena u otra carga equilibrada puede dañar al transceptor. Siempre conecte primero la antena al transceptor antes de transmitir.

- Para la selección de la potencia es preferible seleccionar una potencia baja si la comunicación es todavía fiable. Esto disminuye la posibilidad de que se interfiera con otros en la banda.
- Para la realización de esta práctica es indispensable tener constante comunicación con la persona que va a recibir la señal con el radio portátil.

f. Siguiendo la indicación ya enunciada, el primer paso a realizar es conectar la antena de VHF al transceptor haciendo uso del cable de bajada (figura 53).

Figura 53. Conexión cable de bajada al transceptor



Fuente: elaboración propia.

- g. Conectar el cable de alimentación DC al transceptor.
- h. Con la fuente de voltaje GZV4000, alimentar el transceptor. En este punto, la fuente debe permanecer apagada.
- i. Con el cable de enchufe modular, conectar el panel frontal al transceptor, para esto es necesario conectar el cable al puerto PANEL del transceptor. Simultáneamente conectar el micrófono al transceptor por el puerto MIC.
- j. La persona que posee el radio portátil debe ubicarse a una distancia de más de diez kilómetros.

- k. Con lo aprendido en la práctica 8, apuntar las antenas en la dirección en la que se encuentra la persona con el radio portátil.
1. Encender la fuente de poder GZV4000 y el panel frontal. El transceptor está diseñado para funcionar con una alimentación de 13,8 voltios.
- m. Fijar una frecuencia de 145,005 MHz tanto en el radio Kenwood como en el radio portátil.
- n. Oprimir el PTT del radio Kenwood y transmitir una señal de voz.
- o. Confirmar, por otro medio de comunicación, que el enlace se estableció correctamente.

Práctica 11. Pruebas de recepción de Beacon

Introducción: luego de realizar la práctica anterior es necesario intentar establecer comunicación con un satélite en órbita, para captar su señal Beacon. Es importante mencionar que se usa la antena de UHF, ya que desde los inicios del proyecto se estableció que esta debe ser la antena para *downlink*.

Objetivo: verificar el establecimiento del enlace entre la estación terrena de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y un satélite en órbita.

Materiales:

- Un rotor de azimut
- Un rotor de elevación
- Un controlador de rotores de elevación y azimut G5500
- Una interfaz de control serial GS-232B
- Una interfaz de comunicación serial para computador
- Un cable conversor USB-serial
- Un adaptador 12 voltios DC para GS-232B
- Dos conectores circulares de siete pines
- Un cable de control (controlador-rotores)
- Una antena de UHF

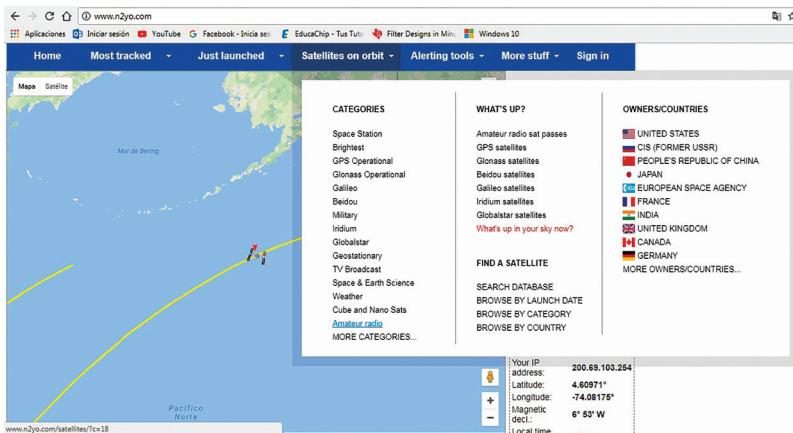
- Un transceptor Kenwood TM-D700
- Un panel frontal Kenwood TM-D700
- Un micrófono Kenwood TM-D700
- Una fuente de voltaje Diamond Antenna GZV4000
- Un computador

Procedimiento:

Nota: transmitir sin haber conectado primero la antena u otra carga equilibrada puede dañar el transceptor. Por eso, siempre se debe conectar primero la antena al transceptor antes de transmitir.

- a. Siguiendo la indicación previa, el primer paso es conectar la antena de UHF al transceptor, usando el cable de bajada.
- b. Conectar el cable de alimentación DC al transceptor.
- c. Empleando la fuente de voltaje GZV4000, alimentar el transceptor. En este punto, la fuente debe permanecer apagada.
- d. Con el cable de enchufe modular, conectar el panel frontal al transceptor. Para esto, es necesario conectar el cable al puerto PANEL del transceptor. Simultáneamente, conectar el micrófono al transceptor por el puerto MIC.
- e. Ingresar al sitio web www.n2yo.com, una vez allí, poner el puntero sobre “Satellites on orbit” e ingresar en la categoría “Amateur radio” (figura 54).

Figura 54. Página web para rastreo de satélites



Fuente: elaboración propia.

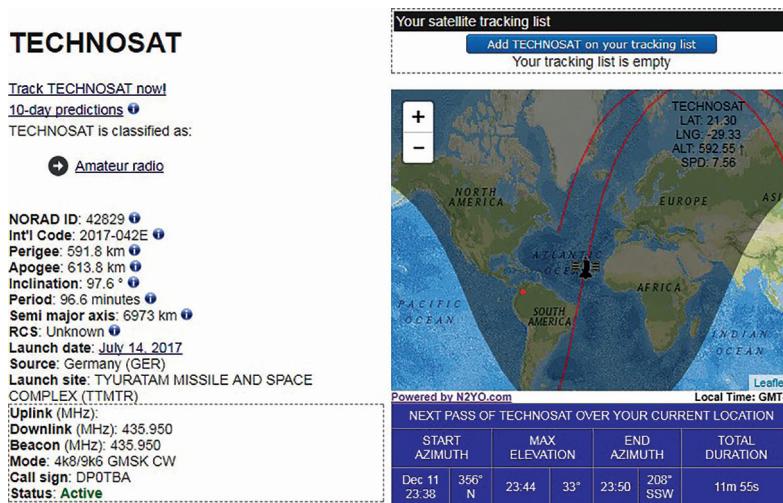
f. Dentro de la lista que se despliega, seleccionar un satélite que tenga una frecuencia de bajada (*downlink*) entre 432 y 440 MHz (figura 55).

Figura 55. Listado de satélites en órbita

Name	NORAD ID	Int'l Code	Status	Beacon (MHz)	Period [minutes]	Action
FOX-1B (RADFXSAT AO-91)	43017	2017-073E	Active	145.960	97.4	TRACK IT
SIMPL	42983	1998-067NF	Inactive		92.6	TRACK IT
COSMOS 2521	42919	2017-037D			97.9	TRACK IT
TANYUSA 1	42911	1998-067NA	Inactive	145.800	92.4	TRACK IT
TOMSK-TPU 120	42910	1998-067MZ	Inactive	145.800	92.4	TRACK IT
TECHNOSAT	42829	2017-042E	Active	435.950	96.6	TRACK IT
BIRD_NN	42824	1998-067MY	Active	437.372	92.3	TRACK IT
BIRD_BB	42823	1998-067MX	Active	437.372	92.3	TRACK IT
BIRD_MM	42822	1998-067MW	Active	437.372	92.3	TRACK IT
BIRD_GG	42821	1998-067MV	Inactive	437.372	92.3	TRACK IT
BIRD_JJ	42820	1998-067MU	Active	437.372	92.3	TRACK IT

Fuente: elaboración propia.

g. Al seleccionar el satélite que se busca rastrear, la página web arrojará información propia del satélite; así como la hora en que pasará cerca a nuestra ubicación real y los valores de elevación y azimut necesarios para establecer el enlace y recibir su señal de Beacon (figura 56).

Figura 56. Datos del satélite rastreado

Fuente: elaboración propia.

- h. Con los datos de elevación y azimut obtenidos anteriormente y con lo aprendido en la Práctica 8, apuntar las antenas en la dirección en la que se encuentra el satélite.
- i. Una vez la señal Beacon sea recibida y audible, conectar el cable estéreo de 3,5 mm entre el transceptor y la entrada del micrófono del computador.
- j. Abrir el *software* CwGet y configurar adecuadamente el umbral, para que la señal sea decodificada.

Capítulo 5. Prácticas de laboratorio para banco de comunicaciones

Práctica 1. Programación módulo de comunicaciones

Introducción: la programación del módulo de comunicaciones es parte esencial para su correcto funcionamiento, dado que, al ser programado, se habilitan las opciones para transmitir Beacon y AX.25.

Objetivo: aprender a programar el módulo de comunicaciones.

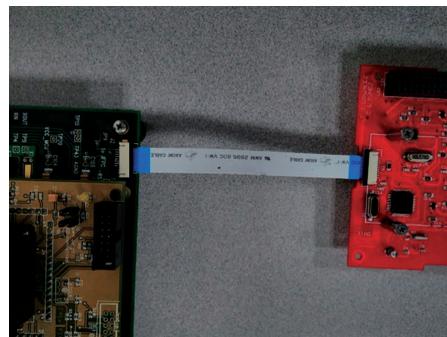
Materiales:

- Versión 3 del módulo de comunicaciones
- Una tarjeta de desarrollo y sus componentes
- Un computador
- Una cinta para programar AWM
- CrossStudio for MSP430 instalado

Procedimiento:

- a. Conectar el adaptador externo como fuente de poder de 5 voltios al Jack J1 de la tarjeta de desarrollo. Deben encenderse los ledes D10, D11 y D13.
- b. Utilizando la cinta AWM, conectar el módulo de comunicaciones a la tarjeta de desarrollo con los conectores JTAG-FPC (figura 57).

Figura 57. Conexión para programar el módulo de comunicaciones



Fuente: elaboración propia.

- c. Haciendo uso de la interfaz de programación y compilación MSP-FET430UIF conectar la tarjeta de desarrollo al computador. El led Power debe encenderse.
- d. Abrir el *software* CrossStudio for MSP430. Enseguida, cargar el archivo “v_hyper” de la carpeta “Beacon_AX25_OBC” (figura 58).

Figura 58. Programa para módulo de comunicaciones

```
/* Variables para almacenar el resultado de ADC para BEACON. posiblemente se borren a futuro*/
int A0result;
int A1result;
int A2result;
int A3result;
int A4result;
int A5result;
int A6result;
int z =0;

void trama_beacon(void)
{
    txd_beacon();
    ptt_on();
    espera();
    lee_sensores();
    ID();
    ADtoMORSE_temperatura(A0result);
```

Fuente: elaboración propia.

- e. En la barra de herramientas, poner el puntero sobre “Target”, luego sobre “Connect” y seleccionar la opción MSP-FET430UIF(V3). El led Mode de la interfaz de programación se encenderá y, en el computador, debe evidenciarse dicha conexión.
- f. En la barra de herramientas, poner el puntero sobre “Build”. De la lista que se despliega seleccionar “Build Project”; en la ventana “Output” debe aparecer que la solución ha sido construida de manera correcta.

g. Por último, poner el puntero sobre “Debug” y oprimir “Go”. De esta forma, el módulo de comunicaciones habrá sido programado.

Práctica 2. Energizar módulo de comunicaciones

Introducción: esta práctica está destinada a familiarizar con las conexiones necesarias para energizar de manera correcta el módulo de comunicaciones. Para esto, es necesario conocer la distribución de pines del bus de comunicaciones o PC104.

Objetivo: realizar las conexiones adecuadas para energizar el módulo de comunicaciones de forma correcta.

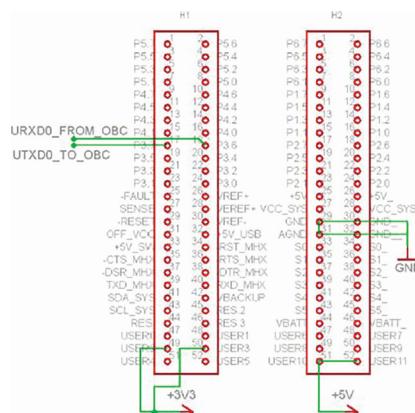
Materiales:

- Versión 3 del módulo de comunicaciones
- Una tarjeta de desarrollo y sus componentes
- Un multímetro
- Jumpers

Procedimiento:

- a. Observar y analizar la distribución de pines del bus de comunicaciones mostrado en la figura 59.

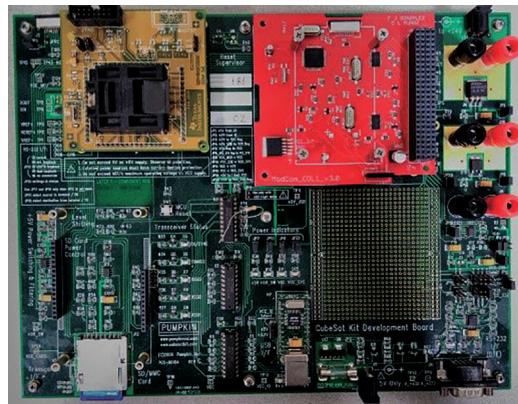
Figura 59. Distribución de pines del bus de comunicaciones



Fuente: elaboración propia.

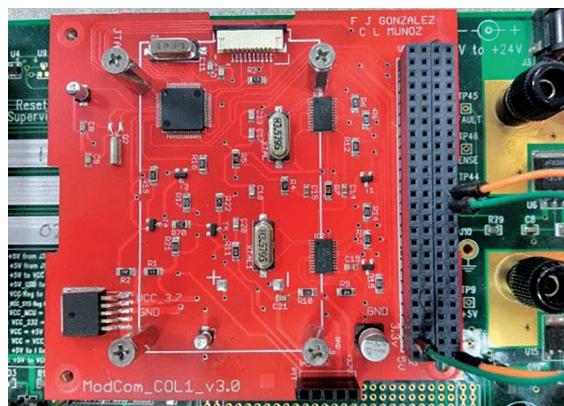
- b. Acoplar el módulo de comunicaciones a la tarjeta de desarrollo mediante el bus de comunicaciones (figura 60).

Figura 60. Acoplamiento del módulo de comunicaciones a la tarjeta de desarrollo



Fuente: elaboración propia.

- c. Conectar el adaptador externo como fuente de poder de 5 voltios al Jack J1 de la tarjeta de desarrollo. En ese momento, deben encenderse los ledes D10, D11 y D13.
- d. Colocar jumpers sobre los pines 26 (+5 V) y 30 (GND) del bus H2 y con un multímetro verificar que existan 5 voltios. Posteriormente, colocar jumpers sobre los pines 28 (VCC_SYS_) y 30 (GND) del bus H2 y, con un multímetro, verificar que hay 3,3 voltios.
- e. Utilizando los jumpers hacer un puente entre el pin 26 y el pin 51 o 52 del bus H2. Luego, hacer un puente entre el pin 28 del bus H2 y el pin 49 o 50 del bus H1 (figura 61).

Figura 61. Conexión buses del PC104

Fuente: elaboración propia.

Práctica 3. Verificación de la señal Beacon

Introducción: una de las características más importantes dentro del módulo de comunicaciones es la generación de la señal Beacon, una señal de tipo radiofaro, codificada en Morse para permitir el rastreo del satélite y proporcionar datos de telemetría básica del mismo.

Objetivo: verificar la frecuencia a la que se encuentra la portadora, presente en la señal Beacon, así como visualizar la trama en código Morse.

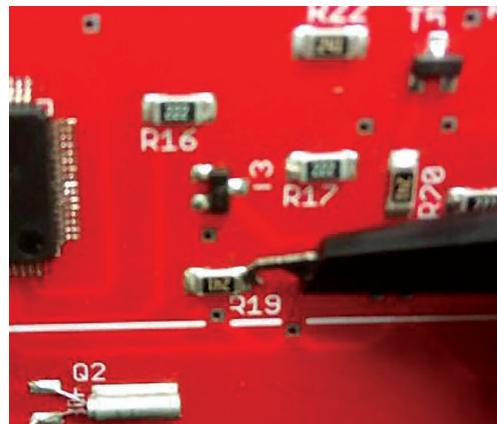
Materiales:

- Versión 3 del módulo de comunicaciones
- Una tarjeta de desarrollo con sus componentes
- Un osciloscopio
- Una sonda

Procedimiento:

- a. Energizar el módulo de comunicaciones.
- b. Conectar el osciloscopio y una sonda.
- c. Con la sonda, medir la señal Beacon sobre el módulo de comunicaciones entre el pin GND (basarse en la distribución de pines del bus de comunicaciones) y la resistencia superficial marcada como R19 (figura 62).

Figura 62. Medición de señal Beacon



Fuente: elaboración propia.

- d. Para la correcta visualización de la trama Beacon en el osciloscopio es necesario ajustar las ventanas de tiempo y la amplitud.
- e. Por medio del alfabeto Morse, decodificar la trama obtenida. Es importante que se tenga en cuenta que un punto equivale a 30 m en alto; un espacio equivale a 30 m en bajo; y una línea equivale a 90 m en alto. La separación entre letras es de tres espacios y, entre palabras, de siete espacios.

Práctica 4. Uso del transceptor para Tx y Rx de señal Beacon

Introducción: una de las principales funcionalidades del módulo de comunicaciones es estar en la capacidad de transmitir y recibir señales de beacon o de AX.25, para esto es necesario acoplar el radio Yaesu VX-3R, que funciona como transceptor para el módulo. Cabe aclarar que para la decodificación de la trama es necesario el uso de un *software* destinado a ello, en este caso se propone el *software* CwGet.

Objetivo: transmitir, recibir y decodificar una señal beacon haciendo uso del *software* CwGet.

Materiales:

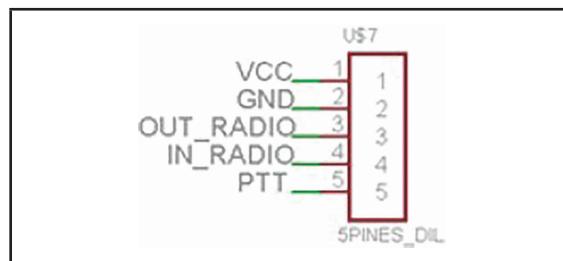
- Versión 3 del módulo de comunicaciones
- Una tarjeta de desarrollo con sus componentes

- Un computador
- Un radio Yaesu VX-3R
- Un radio Kenwood TM-D700
- Un condensador de $10 \mu\text{F}$
- Una resistencia de $2 \text{ k}\Omega$

Procedimiento:

- a. Energizar el módulo de comunicaciones.
- b. Identifique la interfaz de conexión del módulo de comunicaciones con el transceptor Yaesu VX-3R (figuras 63 y 64).

Figura 63. Distribución de pines conector transceptor



Fuente: elaboración propia.

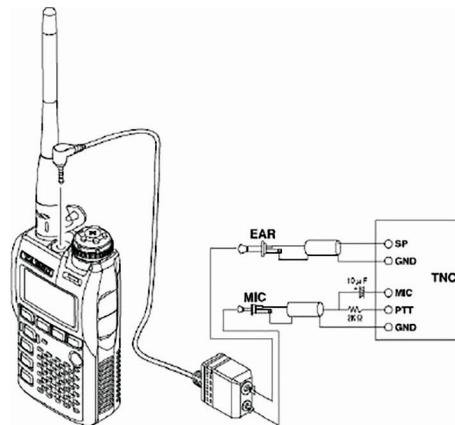
Figura 64. Conector transceptor



Fuente: elaboración propia.

- a. Implementar un filtro como el que se muestra en la figura 65, teniendo en cuenta que el pin MIC equivale al pin OUT_RADIO y que el pin SP equivale al pin IN_RADIO del inciso anterior.

Figura 65. Conexión transceptor del módulo de comunicaciones al radio Yaesu



Fuente: tomada de <https://www.yaesu.com>

- b. Encender los radios y sintonizarlos a la misma frecuencia. Esta frecuencia debe estar comprendida entre los 432 y los 440 MHz.
- c. Luego de recibir la señal y comprobar este hecho de manera audible en el radio Kenwood TM-D700, conectar la salida de audio del radio con la entrada de audio del computador (micrófono) (figuras 66 y 67).

Figura 66. Parte posterior del radio Kenwood



Fuente: elaboración propia.

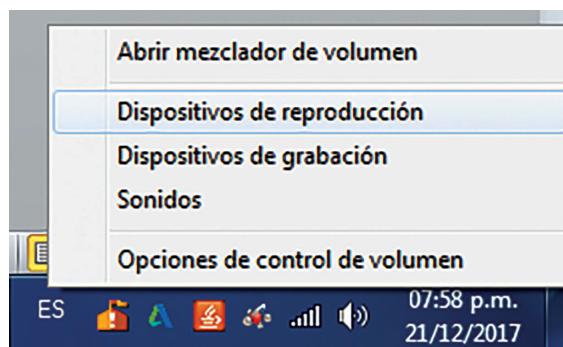
Figura 67. Conexión del cable de audio de 3,5 mm



Fuente: elaboración propia.

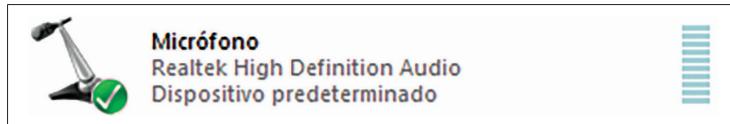
- d. Verificar en el computador que se encuentre activo el micrófono para recepción de señales haciendo clic derecho sobre el ícono de volumen, en la barra de tareas del escritorio, y seleccionar la opción “dispositivos de grabación” (figura 68). Deberá abrirse una ventana (figura 69) que indica que el micrófono está listo para usarse. De no ser así, habilitar el micrófono dando clic derecho sobre el ícono y elegir “habilitar”.

Figura 68. Configuración del micrófono en el computador



Fuente: elaboración propia.

Figura 69. Verificación de activación del micrófono



Fuente: elaboración propia.

- e. A continuación, abrir el *software* CwGet y verificar que se esté captando la señal de audio. Debe tenerse en cuenta que, para el correcto funcionamiento de este *software*, es indispensable que ya se encuentre conectado el cable de audio de 3,5 milímetros al micrófono del computador. Desactivar la opción “Auto threshold” y elegir el nivel apropiado para que sea decodificada la señal recibida. Además, se debe establecer un volumen apropiado en el radio Kenwood que no sature el micrófono del computador.
- f. Para finalizar, comparar la trama obtenida luego de la decodificación hecha por el *software* con la trama que obtuvo de forma manual en la Práctica 3. Si la configuración del *software* CwGet fue la apropiada, debe obtenerse el mismo resultado; de lo contrario, es fundamental revisar con detalle la configuración del *software*.

Práctica 5. Detección de Beacon con TNC

Introducción: como primera medida es necesario recordar que tanto el módulo de comunicaciones como la estación terrena hacen parte del sistema de comunicaciones del picosatélite. Por otra parte, es necesario aclarar que para el desarrollo y puesta en funcionamiento del módulo de comunicaciones de la estación terrena se adquirieron dos radios Kenwood TM-D700; este radio está en la capacidad de transmitir información en el espectro, pero no cuenta con la implementación del modem BELL 202 para la transmisión de una trama AX25 a 1200 bps, viéndose la necesidad de implementar un TNC externo.

Objetivo: transmitir, recibir y decodificar la señal beacon haciendo uso del TNC en DSP.

Materiales:

- Versión 3 del módulo de comunicaciones
- Un radio Kenwood TM-D700
- Una antena (VHF o UHF)
- Una tarjeta de expansión
- Un sistema de desarrollo para DSP
- Un cable USB de datos
- Un cable serial hembra-hembra
- Un cable USB (A/B)
- Un cable de audio de 3,5 a 3,5 mm estéreo
- Un cable extensor USB hembra-macho
- Un computador
- Programa Interfaz_ET-UDvs2.exe instalado

Procedimiento:

Nota:

- Para ejecutar el programa Interfaz_ET-UDv2.exe es necesario tener un sistema operativo Windows XP SP3 o superior, y haber instalado .NET framework 3.5 o .NET framework 4.0, que pueden descargarse directamente del sitio web de Microsoft.
- Para llevar a cabo esta práctica es necesario haber realizado la conexión del módulo de comunicaciones al radio Yaesu VX-3R.

Pasos para garantizar el funcionamiento del sistema de comunicaciones (Penagos, 2015).

- a. Conectar la antena al conector de la antena del radio Kenwood TM-D700 (figura 70).

Figura 70. Radio Kenwood TM-D700. Vista frontal y posterior



Fuente: elaboración propia.

- b. Conectar la fuente de alimentación en un voltaje no superior a 13,25 voltios al radio.
- c. Conectar la tarjeta de desarrollo TMS320VC5505 eZdsp USB Stick a la tarjeta de expansión por el puerto DSP (figura 71).

Figura 71. Conexión de la tarjeta de desarrollo a la tarjeta de expansión



Fuente: elaboración propia.

- d. Conectar el cable serial hembra-hembra entre los puertos seriales del radio y el TNC (figuras 72 y 73).

Figura 72. Conexión serial al radio



Fuente: elaboración propia.

Figura 73. Conexión serial al TNC



Fuente: elaboración propia.

e. Conectar el cable de datos entre los puertos DATA del radio y el TNC (figuras 74 y 75).

Figura 74. Conexión al radio



Fuente: elaboración propia.

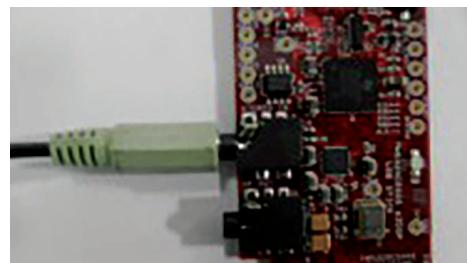
Figura 75. Conexión al TNC



Fuente: elaboración propia

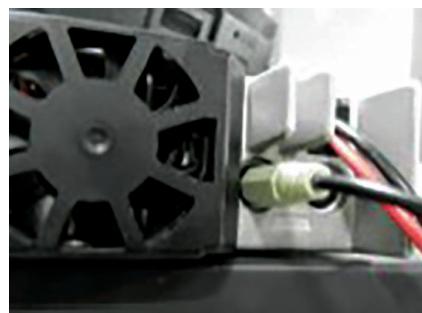
f. Conectar el cable estéreo de 3,5 mm entre el puerto STEREO IN de la tarjeta de desarrollo y el conector SPAKER del radio (figuras 76 y 77).

Figura 76. Conexión cable de 3,5 mm a la tarjeta



Fuente: elaboración propia.

Figura 77. Conexión cable de 3,5 mm al radio



Fuente: elaboración propia.

g. Conectar el cable USB (A/B) entre los puertos USB del TNC y del computador (figura 78).

Figura 78. Conexión del cable USB al TNC



Fuente: elaboración propia.

- h. Conectar el cable USB (H/M) entre el puerto USB macho de la tarjeta TMS320VC5505 y el puerto de alimentación del TNC (o el puerto USB del computador, si se quiere reprogramar el TNC).
- i. Encender el radio Yaesu para que inicie la transmisión de la señal Beacon desde el módulo de comunicaciones. Encender la fuente de alimentación para que el radio Kenwood reciba esta señal.
- j. Ejecutar el *software* Interfaz_ET-UDv2.exe. Hecho esto, se abre una ventana en la cual lo primero que debe hacerse es configurar la conexión serial con las siguientes características:
 - Tasa de transferencia a 9600 bps
 - Número de bits: 8
 - Paridad None
 - Bits de parada: 1
- k. Oprimir el botón “Actualizar”, seleccionar el puerto y oprimir “Usar Puerto”. Se deberá abrir una ventana emergente indicando que el puerto seleccionado está abierto, darle clic a “Aceptar”.
- l. Luego, se abrirá otra ventana emergente con el mensaje “¡TNC conectado!”. En caso de que no aparezca este mensaje desconectar el puerto USB del computador y volverlo a conectar. Oprimir “Aceptar”. De esta forma, se habilitan las opciones para la configuración de transmisión y recepción de datos.
- m. En este punto ya se habrá habilitado el resto de las opciones. Por tanto, se debe configurar el radio. Cada cambio realizado en la interfaz se verá reflejado en el radio; deben asignarse los *callsigns* de origen y destino y, luego, oprimir “Asignar Callsign”. En el campo “Registro de comando enviado al TNC”, se verá en tiempo real cada comando que se envíe al TNC (figura 79).

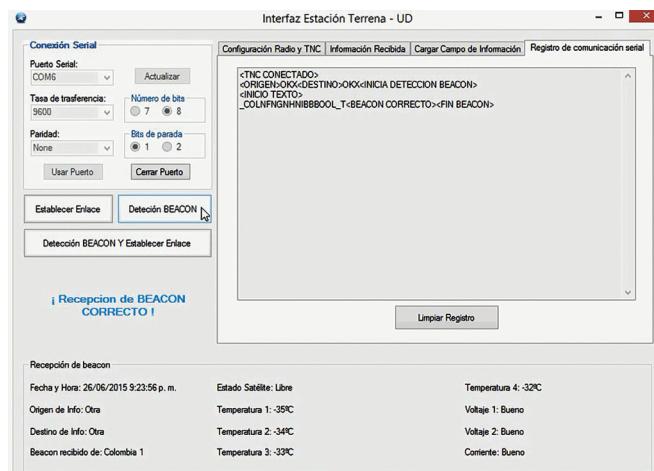
Figura 79. Asignar *callsigns*



Fuente: elaboración propia.

n. Oprimir el botón “Detección Beacon”. Con ello, se envía el comando al TNC. Se deshabilitan algunas opciones hasta que se detecte una trama Beacon o se cumpla el tiempo de espera; aparecerá entonces, en el “Registro de comunicación serial”, el mensaje “Inicia detección Beacon” (figura 80).

Figura 80. Detección Beacon



Fuente: elaboración propia.

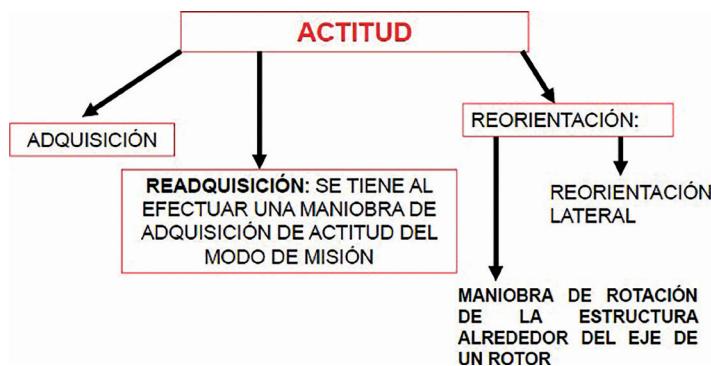
Capítulo 6. Consideraciones para el banco de control de actitud

Pasos para la adquisición de la actitud

Desde un punto de vista teórico, estos son los pasos para adquirir la actitud del satélite (figura 81):

- Separación del CubeSat del cohete que lo deja en órbita
- Alcanzar una actitud cercana a la actitud nominal de diseño
- Inicio de operación normal de la misión

Figura 81. Pasos para alcanzar la adquisición de la actitud



Fuente: Ávila (2011a).

Desde el punto de vista dinámico, se estudian los pares de fuerzas externas que actúan sobre el sistema, como (1) las perturbaciones del ambiente espacial (gravitacionales, rozamiento, radiación solar y pares magnéticos) y (2) las del sistema de control, necesarias para el diseño de un sistema óptimo,

capaz de controlar y ajustar la actitud del satélite, de manera permanente. Para ello, existen dos tipos de sistemas de control: los pasivos y los activos.

El sistema de control pasivo

Para los propósitos del proyecto académico CubeSat-UD Colombia 1, el sistema de control pasivo es el que mejor se ajusta a las disposiciones de espacio y ahorro de memoria en el computador a bordo (OBC). Los principales actuadores pasivos son:

1. El gradiente gravitacional: empleado para satélites en órbitas terrestres bajas denominadas LEO, su acción es la de alinear un mástil en la dirección de la vertical local (hlvl).
2. Estabilización aerodinámica y presión solar: con historial de uso reciente los resultados sobre satélites en órbitas bajas hasta ahora están siendo evaluados.
3. Estabilización por rotación: utiliza una rigidez giroscópica intrínseca de un cuerpo en rotación, lo que lleva a mantener su orientación en el espacio inercial.

El actuador pasivo seleccionado para el diseño en el proyecto CubeSat-UD es de tipo estabilización por rotación, valiéndose de un giroscopio como actuador pasivo y varios sensores solares.

El proyecto debido a su tamaño y limitación en masa (un kilogramo) permite, únicamente, (1) la implementación de un actuador pasivo (que para nuestro caso es un magnetómetro que hace las veces de actuador) y (2) la utilización de sensores solares, para obtener una medida del ángulo de orientación. Ello permitirá tomar las decisiones adecuadas para enviarlas al satélite y que el actuador realice la acción de actitud pertinente. De esta forma, puede obtenerse la orientación oportuna y garantizarse la realización del enlace con la estación terrena para que pase al estado de misión.

La propuesta de implementación del sistema de actitud es un giroscopio triaxial, el cual siempre estará en disposición de alinearse con el campo magnético terrestre. Para ello, se dispondrá de una medida del sensor que debe ser igual a la actitud del satélite, menos la actitud nominal de los cálculos de simulación.

El giroscopio triaxial

Dicho lo anterior, es importante sintetizar que, para el proyecto académico CubeSat-UD, la propuesta es utilizar un giróscopo triaxial como actuador; así también la implementación de sensores solares, ubicados en cada cara del picosatélite. Esto permite la toma de decisiones y acciones rápidas y la utilización de poca memoria en el programa principal, lo cual representa una ventaja en el nivel de uso de *hardware*, puesto que la poca utilización de memoria implica mayores recursos disponibles para los demás submódulos que son un poco más relevantes.

A partir de la toma de decisiones, es posible realizar un ajuste rápido de las acciones que van a ejecutarse en cada paso visible sobre la estación terrena. Para lograr este objetivo, los cálculos de simulación se hicieron sobre la base de SPG4 y el *software* de AGI, lo que, además, permite generar datos sobre las perturbaciones y variaciones temporales de los elementos keplerianos del vehículo durante su vida útil (Ávila, 2011a).

Dado que en la actualidad el grupo de investigación GITEM++ solo cuenta con trabajos de simulación para el estudio de un control de actitud, no es posible proponer prácticas para la implementación y el desarrollo de este módulo. No obstante, algunos *software* que pueden utilizarse para ahondar en el estudio e implementación subsecuente de un sistema de control de orientación pasivo para el picosatélite CubeSat-UD Colombia-1 son:

- JAT32 Attitude Space-craft Simulator
- *Software* SPG4/SDP4
- *Software* Geodesia Física (del grupo GITEM++)
- *Software* Función perturbadora (del grupo GITEM++)
- *Software* Orbitron
- *Software* STK-NAVTK

En caso de querer profundizar en el tema de las simulaciones y los diseños relativos a este módulo, consultar *Modelamiento del sistema control de orientación para un picosatélite* (Ávila, 2011b).

Capítulo 7. Prácticas de laboratorio para banco de potencia

Práctica 1. Verificación de curvas de histéresis de la etapa de regulación sin carga de manera individual

Introducción: teniendo en cuenta que el comportamiento de cualquier dispositivo no es el mismo, cuando la tensión de entrada varía de forma ascendente o descendente se hace necesario obtener, de forma experimental, las curvas de histéresis de cada uno de los reguladores. Cabe resaltar que los reguladores suministran una tensión fija de 5 voltios en el pin denominado V_{CELL} , el cual es el punto común a la salida de los tres reguladores.

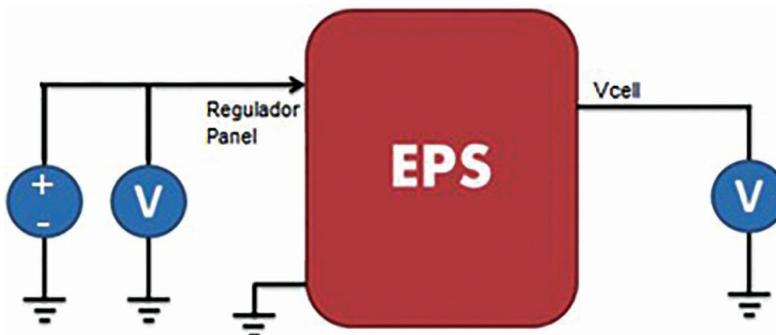
Objetivo: verificar la tensión de entrada frente a la tensión de salida de cada uno de los reguladores de la versión 3 del módulo de potencia. Así también, verificar si el voltaje de salida se mantiene independientemente del regulador que se esté usando.

Materiales:

- Versión 3 del EPS
- Una tarjeta para mediciones con cargas que simulan a los usuarios
- Dos multímetros
- Un osciloscopio
- Una sonda
- Una fuente de tensión regulada
- Conectores de potencia
- Jumpers

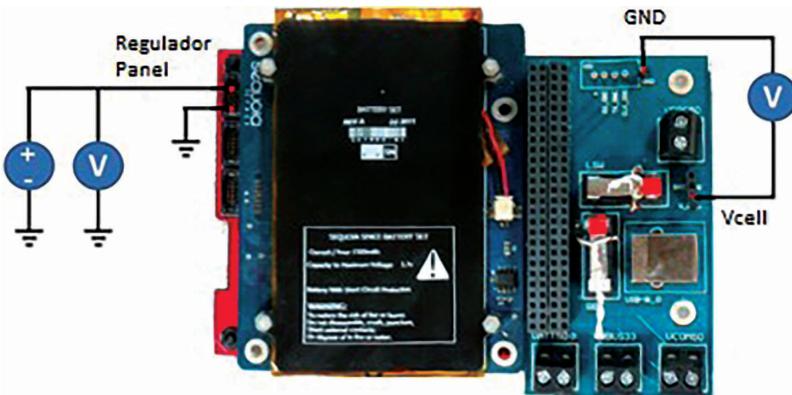
Procedimiento:

Figura 82. Configuración EPS v3 (regulador individual sin carga)



Fuente: elaboración propia.

Figura 83. Conexión EPS v3 (regulador individual sin carga)



Fuente: elaboración propia.

Nota: el procedimiento descrito a continuación debe ser realizado para cada regulador presente en el EPS V3 de manera individual.

- Haciendo uso de la fuente DC y de dos voltímetros, implementar el esquema mostrado en las figuras 82 y 83.
- Variando la tensión de entrada desde los 0 voltios hasta los 5,5 voltios en la cantidad de saltos que se considere adecuados, completar la tabla 1 con los valores de tensión de entrada y salida obtenidos para el regulador en uso (agregue la cantidad de filas que considere necesario). Simultáneamente,

con osciloscopio, medir el valor de rizado del voltaje de salida (V_{CELL}) en todos los casos.

- c. Una vez se alcance el valor máximo de tensión (5,5 voltios), disminuir la tensión de entrada hasta 0 voltios, manteniendo la misma razón de cambio del literal b y, enseguida, completar la tabla 2 con los valores de tensión de entrada y de salida obtenidos para el regulador en uso. Simultáneamente, con el osciloscopio, medir el valor de rizado del voltaje de salida (V_{CELL}) en todos los casos.
- d. Elaborar la curva de histéresis que relacione *Voltaje de entrada* (eje X) frente a *Voltaje de salida* (eje Y).
- e. Realizar el mismo procedimiento de los literales a, b, c y d para los otros dos reguladores.
- f. Mediante un gráfico relacione las curvas de histéresis obtenidas en el literal e.
- g. Realizar una apreciación basada en los valores de rizado del voltaje de salida obtenidos.
- h. De acuerdo con las gráficas obtenidas debe concluirse.

Tabla 1. Mediciones de subida (regulador individual sin carga)

Regulador X			Regulador Y			Regulador Z		
Vin (V)	Vout (V)	Valor de rizado (mV)	Vin (V)	Vout (V)	Valor de rizado (mV)	Vin (V)	Vout (V)	Valor de rizado (mV)

Fuente: elaboración propia.

Tabla 2. Mediciones de bajada (regulador individual sin carga)

Regulador X			Regulador Y			Regulador Z		
V _{in} (V)	V _{out} (V)	Valor de rizado (mV)	V _{in} (V)	V _{out} (V)	Valor de rizado (mV)	V _{in} (V)	V _{out} (V)	Valor de rizado (mV)

Fuente: elaboración propia.

Práctica 2. Verificación de curvas de histéresis de la etapa de regulación sin carga con combinación de reguladores

Introducción: teniendo en cuenta que el comportamiento de cualquier dispositivo no es el mismo cuando la tensión de entrada varía de forma ascendente o descendente, es necesario obtener de manera experimental las curvas de histéresis de las posibles combinaciones de reguladores. Esta combinación de reguladores suministra una tensión fija de 5 voltios en el pin V_{CELL}, el cual es el punto común a la salida de los tres reguladores. Todo esto, para validar la importancia de la redundancia de *hardware* para mayor robustez del módulo de potencia.

Objetivo: verificar la tensión de entrada y la tensión de salida, esta vez realizando las cuatro posibles combinaciones entre reguladores de la versión 3 del diseño crítico del módulo de potencia; también verificar si el voltaje de salida se mantiene, independientemente de la combinación de reguladores que esté usándose.

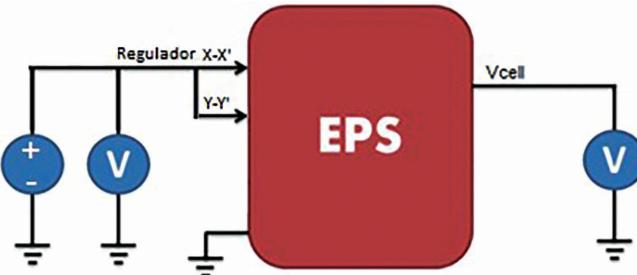
Materiales:

- Versión 3 del EPS
- Una tarjeta para mediciones con cargas que simulan a los usuarios
- Dos multímetros
- Un osciloscopio
- Una sonda

- Una fuente de tensión regulada
- Conectores de potencia
- Jumpers

Procedimiento:

Figura 84. Configuración EPS V3 (combinación de reguladores sin carga)



Fuente: elaboración propia.

Figura 85. Conexión EPS v3 (combinación de reguladores sin carga)



Fuente: elaboración propia.

Nota: el procedimiento descrito a continuación debe ser realizado para cada una de las combinaciones de reguladores presentes en el EPS V3.

- Escoger una combinación de reguladores dentro de las cuatro posibles (XY, XZ, YZ o XYZ), según se muestra en la figura 84.
- Con la fuente DC y dos voltímetros implemente el esquema mostrado en las figuras 84 y 85.

- c. Variando la tensión de entrada desde los 0 voltios hasta 5,5 voltios, en la cantidad de saltos que considere adecuados, completar la tabla 3 con los valores de tensión de entrada y salida obtenidos para la combinación de reguladores en uso (agregar la cantidad de filas que se considere necesarias). Simultáneamente, con el osciloscopio, medir el valor de rizado del voltaje de salida (V_{CELL}) en todos los casos.
- d. Luego de llegar al valor máximo de tensión (5,5 voltios), hacer disminuir la tensión de entrada hasta los 0 voltios, manteniendo la misma razón de cambio del literal b; completar la tabla 4 con los valores de tensión de entrada y salida obtenidos para la combinación de reguladores en uso. Simultáneamente, haciendo uso del osciloscopio mida el valor de rizado del voltaje de salida (V_{CELL}) en todos los casos.
- e. Elaborar una gráfica que relacione *Voltaje de entrada* (eje X) frente al *Voltaje de salida* (eje Y).
- f. Realizar el mismo procedimiento de los literales a, b, c y d, para las combinaciones faltantes.
- g. Mediante un gráfico, relacionar todas las curvas de histéresis obtenidas en el literal e.
- h. Realizar una apreciación basada en los valores de rizado del voltaje de salida obtenidos.
- i. De acuerdo con las gráficas obtenidas, se debe concluir.

Tabla 3. Mediciones de subida (combinación de reguladores sin carga)

Combinación reguladores XY			Combinación reguladores XZ			Combinación reguladores YZ			Combinación reguladores XYZ		
V_{in} (V)	V_{out} (V)	Valor de rizado (mV)	V_{in} (V)	V_{out} (V)	Valor de rizado (mV)	V_{in} (V)	V_{out} (V)	Valor de rizado (mV)	V_{in} (V)	V_{out} (V)	Valor de rizado (mV)

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4. Mediciones de bajada (combinación de reguladores sin carga)

Combinación reguladores XY			Combinación reguladores XZ			Combinación reguladores YZ			Combinación reguladores XYZ		
V _{in} (V)	V _{out} (V)	Valor de rizado (mV)	V _{in} (V)	V _{out} (V)	Valor de rizado (mV)	V _{in} (V)	V _{out} (V)	Valor de rizado (mV)	V _{in} (V)	V _{out} (V)	Valor de rizado (mV)

Fuente: elaboración propia.

Práctica 3. Eficiencia individual de cada regulador de la etapa de entrada con carga a la salida

Introducción: una característica esencial en cualquier sistema de potencia es la eficiencia que puede otorgar. Por tanto, se hace necesario obtener dicho parámetro. Para esta prueba, la carga que se planea utilizar será conectada entre los pines V_{CELL} y GND, dado que se quiere evaluar el funcionamiento de la etapa de regulación de entrada. En este punto, aún no están inmersos los usuarios finales.

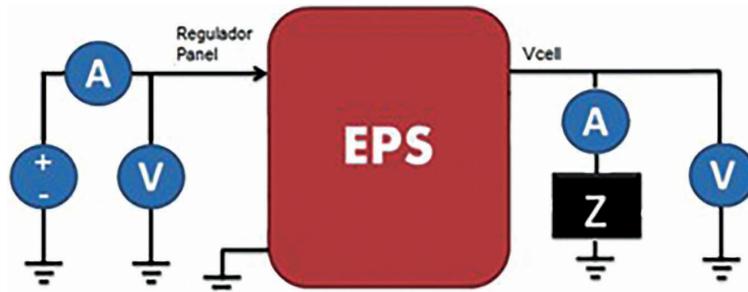
Objetivo: verificar de forma individual la eficiencia de los reguladores de la versión 3 del diseño crítico del módulo de potencia.

Materiales:

- Versión 3 del EPS
- Una tarjeta para mediciones con cargas que simulan a los usuarios
- Cuatro multímetros
- Un osciloscopio
- Una sonda
- Una fuente de tensión regulada
- Un reóstato de 1000 Ω
- Conectores de potencia
- Jumpers

Procedimiento:

Figura 86. Configuración EPS v3 (regulador individual con carga)



Fuente: elaboración propia.

Figura 87. Conexión EPS v3 (regulador individual con carga)



Fuente: elaboración propia.

Nota:

- El voltímetro a la salida del regulador debe colocarse abarcando el amperímetro y la carga, no sobre la carga únicamente, puesto que se estaría midiendo un voltaje que tiene una caída de tensión debida a la resistencia interna del amperímetro.
- El procedimiento descrito a continuación debe ser realizado para cada regulador presente en el EPS V3 de manera individual.
 - a. Haciendo uso de la fuente DC, de dos voltímetros, dos amperímetros y un reóstato, implementar el esquema mostrado en las figuras 86 y 87.
 - b. Utilizar un valor de 260Ω como carga, valor que se mantendrá fijo durante el desarrollo de esta práctica.

- c. Variando la tensión de entrada desde los 0 voltios hasta 5,5 voltios en la cantidad de saltos que se considere adecuados, completar la tabla correspondiente al regulador en uso con los valores obtenidos de tensión y corriente de entrada y salida, agregando la cantidad de filas que considere necesarias (tablas 5 a 7). Simultáneamente, con el osciloscopio, medir el valor de rizado del voltaje de salida (V_{CELL}), en todos los casos.
- d. A partir de los valores obtenidos en el literal previo, calcular la potencia de entrada y de salida para cada caso.
- e. Una vez conocidos los valores de potencia de entrada y de salida, calcular la eficiencia para cada caso.
- f. Elaborar una gráfica de *Voltaje de entrada* frente a *Eficiencia*.
- g. Realizar el mismo procedimiento de los literales a, b, c, d, e y f, para los otros dos reguladores.
- h. Elaborar una gráfica general, en la cual se comparan los resultados obtenidos de forma individual en el literal g.
- i. Realizar una apreciación, basada en los valores de rizado del voltaje de salida obtenidos.
- j. De acuerdo con las gráficas obtenidas, concluir.

Tabla 5. Regulador X con carga

V_{in} (V)	I_{in} (mA)	V_{out} (V)	I_{out} (mA)	Valor de rizado (mV)	P_{in} (mW)	P_{out} (mW)	Eficiencia (%)

Fuente: elaboración propia.

Tabla 6. Regulador Y con carga

V_{in} (V)	I_{in} (mA)	V_{out} (V)	I_{out} (mA)	Valor de rizado (mV)	P_{in} (mW)	P_{out} (mW)	Eficiencia (%)

Fuente: elaboración propia.

Tabla 7. Regulador Z con carga

V_{in} (V)	I_{in} (mA)	V_{out} (V)	I_{out} (mA)	Valor de rizado (mV)	P_{in} (mW)	P_{out} (mW)	Eficiencia (%)

Fuente: elaboración propia.

Práctica 4. Eficiencia de la combinación de reguladores de la etapa de entrada con carga a la salida

Introducción: es importante mencionar que existen cuatro posibles combinaciones (XY, XZ, YZ y XYZ). Al implementar este tipo de combinaciones se cuenta en cada caso con uno o dos reguladores de respaldo. Esto se conoce como *redundancia de hardware*, por tanto, puede considerarse un sistema menos propenso a fallas.

Objetivo: obtener la eficiencia de los reguladores cuando se usan de forma simultánea en la versión 3 del diseño crítico del módulo de potencia.

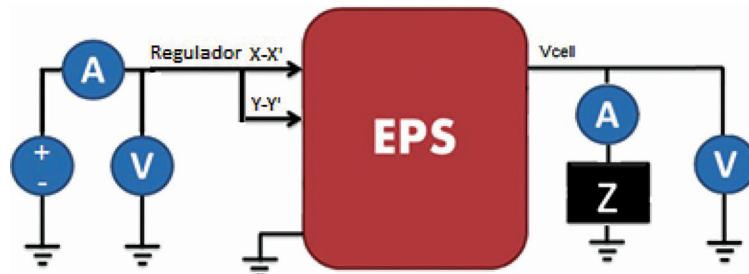
Materiales:

- Versión 3 del EPS
- Una tarjeta para mediciones con cargas que simulan a los usuarios
- Cuatro multímetros

- Un osciloscopio
- Una sonda
- Una fuente de tensión regulada
- Un reóstato de $1000\ \Omega$
- Conectores de potencia
- Jumpers

Procedimiento:

Figura 88. Configuración EPS v3 (combinación de reguladores con carga)



Fuente: elaboración propia.

Figura 89. Conexión EPS v3 (combinación de reguladores con carga)



Fuente: elaboración propia.

Nota:

- El voltímetro a la salida del regulador debe colocarse abarcando el amperímetro y la carga, no sobre la carga únicamente, puesto que se estaría midiendo un voltaje que tiene una caída de tensión debida a la resistencia interna del amperímetro.

- El procedimiento descrito a continuación debe ser realizado para cada combinación de reguladores presentes en el EPS V3.
 - a. Escoger una combinación de reguladores dentro de las cuatro posibles (XY, XZ, YZ o XYZ).
 - b. Con la fuente DC, de dos voltímetros, dos amperímetros y un reóstato, implementar el esquema mostrado en las figuras 88 y 89.
 - c. Utilizar un valor de 260Ω como carga, valor que se mantendrá fijo durante el desarrollo de esta práctica.
 - d. Variando la tensión de entrada desde los 0 voltios hasta 5,5 voltios, en la cantidad de saltos que se considere adecuados, completar la tabla correspondiente para la combinación de reguladores en uso con los valores de tensión y corriente de entrada y salida obtenidos, agregando la cantidad de filas que se considere necesarias (tablas 8 a 11). Simultáneamente, con el osciloscopio, medir el valor de rizado del voltaje de salida (V_{CELL}) en todos los casos.
 - e. A partir de los valores obtenidos en el paso anterior, calcular la potencia de entrada y salida para cada caso.
 - f. Una vez conocidos los valores de potencia de entrada y de salida, calcular la eficiencia para cada caso.
 - g. Elaborar una gráfica de *Voltaje de entrada* frente a *Eficiencia*.
 - h. Realizar el mismo procedimiento de los literales a, b, c, d, e y f para las otras tres combinaciones de reguladores.
 - i. Elaborar una gráfica general, en la que se comparan los resultados obtenidos de forma individual en el literal g.
 - j. Realizar una apreciación basada en los valores obtenidos de rizado del voltaje de salida.
 - k. De acuerdo con las gráficas obtenidas, concluir la práctica.

Tabla 8. Combinación de reguladores XY con carga

V_{in} (V)	I_{in} (mA)	V_{out} (V)	I_{out} (mA)	Valor de rizado (mV)	P_{in} (mW)	P_{out} (mW)	Eficiencia (%)

Fuente: elaboración propia.

Tabla 9. Combinación de reguladores XZ con carga

V_{in} (V)	I_{in} (mA)	V_{out} (V)	I_{out} (mA)	Valor de rizado (mV)	P_{in} (mW)	P_{out} (mW)	Eficiencia (%)

Fuente: elaboración propia.

Tabla 10. Combinación de reguladores YZ con carga

V_{in} (V)	I_{in} (mA)	V_{out} (V)	I_{out} (mA)	Valor de rizado (mV)	P_{in} (mW)	P_{out} (mW)	Eficiencia (%)

Fuente: elaboración propia.

Tabla 11. Combinación de reguladores XYZ con carga

V_{in} (V)	I_{in} (mA)	V_{out} (V)	I_{out} (mA)	Valor de rizado (mV)	P_{in} (mW)	P_{out} (mW)	Eficiencia (%)

Fuente: elaboración propia.

Práctica 5. Eficiencia individual de cada regulador de la etapa de entrada, variando la carga

Introducción: en un entorno real, el satélite se encontrará expuesto a variaciones de carga constantes, por lo cual es necesario evaluar la eficiencia del módulo de potencia cuando se somete a dichos cambios. Para realizar esta prueba, se requiere un reóstato de 100Ω , el cual será tomado como valor máximo de carga y a partir del cual se empiezan las variaciones de carga.

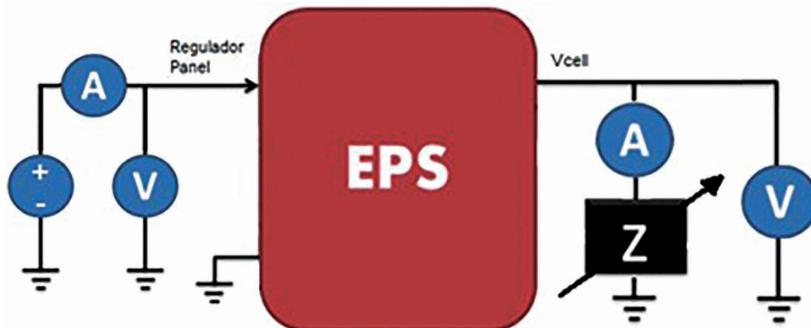
Objetivo: obtener la eficiencia individual de los reguladores cuando se presentan variaciones de carga en la versión 3 del diseño crítico del módulo de potencia.

Materiales:

- Versión 3 del EPS
- Una tarjeta para mediciones con cargas que simulan a los usuarios
- Cuatro multímetros
- Una fuente de tensión regulada
- Un reóstato de 100Ω
- Conectores de potencia
- Jumpers

Procedimiento:

Figura 90. Configuración EPS v3 (regulador individual con variaciones de carga)



Fuente: elaboración propia.

Figura 91. Conexión EPS v3 (regulador individual con variaciones de carga)



Fuente: elaboración propia.

Nota:

- El voltímetro a la salida del regulador debe colocarse abarcando el amperímetro y la carga, no sobre la carga únicamente, puesto que se estaría midiendo un voltaje que tiene una caída de tensión, debida a la resistencia interna del amperímetro.
- El procedimiento descrito a continuación debe ser realizado para cada regulador presente en el EPS V3, de manera individual.
 - a. Con la fuente DC, dos voltímetros, dos amperímetros y un reóstato, implementar el esquema mostrado en las figuras 90 y 91.

- b. Utilizar un valor de 100Ω como carga inicial, a partir del cual se empezarán a realizar las variaciones de carga. Adicionalmente, establecer un voltaje de entrada de 5,0 voltios, el cual se mantendrá fijo durante el resto de la práctica.
- c. Con el reóstato, realizar variaciones de carga uniformes, entre 100 y 10Ω , en la cantidad de saltos que se considere adecuados; enseguida, completar la tabla 12 con los valores de tensión y corriente de entrada y de salida obtenidos (agregue la cantidad de filas que considere necesario).
- d. A partir de los valores obtenidos en el paso previo, calcular la potencia de entrada y de salida para cada caso.
- e. Una vez conocidos los valores de potencia de entrada y salida, calcular la eficiencia para cada caso.
- f. Elaborar una gráfica de *Corriente de salida* frente a *Eficiencia*.
- g. Realizar el mismo procedimiento de los literales a, b, c, d, e y f, para los otros dos reguladores (tablas 13 y 14).
- h. Elabore una gráfica general en la cual se comparan los resultados obtenidos de forma individual en el paso anterior.
- i. De acuerdo con las gráficas obtenidas, concluir la práctica.

Tabla 12. Regulador X con variaciones de carga

R (Ω)	V_{in} (V)	$I_{x-x'}$ (mA)	V_{out} (V)	I_{out} (mA)	P_{in} (mW)	P_{out} (mW)	Eficiencia (%)

Fuente: elaboración propia.

Tabla 13. Regulador Y con variaciones de carga

R (Ω)	V _{in} (V)	I _{y-y'} (mA)	V _{out} (V)	I _{out} (mA)	P _{in} (mW)	P _{out} (mW)	Eficiencia (%)

Fuente: elaboración propia.

Tabla 14. Regulador Z con variaciones de carga

R (Ω)	V _{in} (V)	I _{z-z'} (mA)	V _{out} (V)	I _{out} (mA)	P _{in} (mW)	P _{out} (mW)	Eficiencia (%)

Fuente: elaboración propia.

Práctica 6. Eficiencia de la combinación de los reguladores de la etapa de entrada, variando la carga

Introducción: en esta práctica, se simula el consumo de varios de los usuarios que pueden funcionar simultáneamente en órbita. Esto exige consumo desde el módulo de potencia. Para verificar su funcionamiento combinado, se alimentan dos o tres reguladores de entrada mientras que a la salida se varía la carga.

Objetivo: obtener la eficiencia de los reguladores cuando se usan de forma simultánea y se presentan variaciones de carga en la versión 3 del diseño crítico del módulo de potencia; así también, determinar la eficiencia total combinada

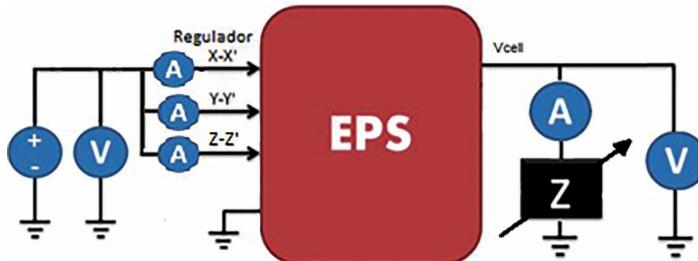
Materiales:

- Versión 3 del EPS
- Una tarjeta para mediciones con cargas que simulan a los usuarios
- Seis multímetros

- Una fuente de tensión regulada
- Un reóstato de $100\ \Omega$
- Conectores de potencia
- Jumpers

Procedimiento:

Figura 92. Configuración EPS V3 (combinación de reguladores con variaciones de carga)



Fuente: elaboración propia.

Figura 93. Conexión EPS V3 (combinación de reguladores con variaciones de carga)



Fuente: elaboración propia.

Nota:

- El voltímetro a la salida del regulador debe colocarse abarcando el amperímetro y la carga, no sobre la carga únicamente, puesto que estaría midiéndose un voltaje que tiene una caída de tensión, debida a la resistencia interna del amperímetro.
- El procedimiento descrito a continuación debe ser realizado para cada combinación de los reguladores presentes en el EPS V3.

- a. Escoger una combinación de reguladores dentro de las cuatro posibles (XY, XZ, YZ o XYZ).
- b. Con la fuente DC, dos voltímetros, cuatro amperímetros y un reóstato, implementar los esquemas mostrados al inicio de esta práctica (figuras 92 y 93).
- c. Utilice un valor de $100\ \Omega$ como carga inicial. A partir de esta, empezar a realizar las variaciones de carga. Adicionalmente, establecer un voltaje de entrada de 5,0 voltios, el cual se mantendrá fijo durante el resto de la práctica.
- d. Con el reóstato, realizar variaciones de carga uniformes entre 100 y $10\ \Omega$, en la cantidad de saltos que se considere adecuados. De este modo, completar la tabla 15 con los valores obtenidos de tensión y corriente de entrada y de salida, agregando la cantidad de filas que considere necesarias.
- e. A partir de los valores obtenidos en el literal c, calcular la potencia de entrada y de salida para cada caso.
- f. Una vez conocidos los valores de potencia de entrada y salida, se debe calcular la eficiencia, para cada caso.
- g. Elaborar una gráfica de *Corriente de salida* frente a *Eficiencia*.
- h. Realizar el mismo procedimiento de los incisos a, b, c, d, e y f, para las otras tres combinaciones de los reguladores (tablas 16 a 18).
- i. Elaborar una gráfica general, en la cual se comparan los resultados obtenidos de forma individual en el literal g.
- j. De acuerdo con las gráficas obtenidas, concluir la práctica.

Tabla 15. Combinación de reguladores XY con variaciones de carga

R (Ω)	V_{in} (V)	$I_{x-x'}$ (mA)	$I_{y-y'}$ (mA)	V_{out} (V)	I_{out} (mA)	P_{in} (mW)	P_{out} (mW)	Eficiencia (%)

Fuente: elaboración propia.

Tabla 16. Combinación de reguladores XZ con variaciones de carga

R (Ω)	V _{in} (V)	I _{x-x'} (mA)	I _{z-z'} (mA)	V _{out} (V)	I _{out} (mA)	P _{in} (mW)	P _{out} (mW)	Eficiencia (%)

Fuente: elaboración propia.

Tabla 17. Combinación de reguladores YZ con variaciones de carga

R (Ω)	V _{in} (V)	I _{y-y'} (mA)	I _{z-z'} (mA)	V _{out} (V)	I _{out} (mA)	P _{in} (mW)	P _{out} (mW)	Eficiencia (%)

Fuente: elaboración propia.

Tabla 18. Combinación de reguladores XYZ con variaciones de carga

R (Ω)	V _{in} (V)	I _{x-x'} (mA)	I _{y-y'} (mA)	I _{z-z'} (mA)	V _{out} (V)	I _{out} (mA)	P _{in} (mW)	P _{out} (mW)	Eficiencia (%)

Fuente: elaboración propia.

Práctica 7. Carga de baterías de forma individual

Introducción: para el óptimo funcionamiento del picosatélite, es indispensable usar baterías de Li-Ion Poly que estén en la capacidad de proporcionar la energía necesaria para el correcto funcionamiento del picosatélite. Estas baterías actúan en el caso de que los paneles solares no puedan suministrar dicha energía, es decir, es un sistema de alimentación alternativo.

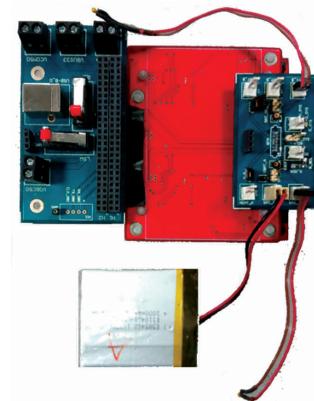
Objetivo: efectuar la carga de las baterías de forma individual.

Materiales:

- Versión 3 del EPS
- Una tarjeta para mediciones con cargas que simulan a los usuarios
- Una tarjeta adaptadora para realizar mediciones con baterías de Li-Ion sueltas
- Dos baterías de Li-Ion Poly
- Cuatro multímetros
- Una fuente de tensión regulada
- Conectores de potencia
- Jumpers

Procedimiento:

Figura 94. Conexión EPS V3 (carga individual de baterías)



Fuente: elaboración propia.

Nota:

- Al realizar la carga de las baterías es necesario que estén totalmente descargadas, para obtener una caracterización completa.
- Para realizar la carga de baterías se debe contar con un tiempo de cuatro a seis horas.

- El procedimiento descrito a continuación debe ser realizado para cada batería (A y B) presente en el EPS V3, de forma individual.
 - a. Con la fuente DC, dos voltímetros, dos amperímetros, una batería de Li-Ion Poly y las tarjetas de prueba, implementar el esquema mostrado en la figura 94.
 - b. Es necesario asegurarse de que tanto el RBF como el LSW estén oprimidos. Alimentar con un voltaje de entrada fijo de 5,0 voltios.
 - c. Una vez implementado en su totalidad y alimentado el esquema, soltar ambos interruptores; así se inicia el proceso de carga de la batería. Simultáneamente, comenzar la toma de mediciones en intervalos de tiempos que se considere adecuados. Entretanto, completar la tabla 19 con los valores de tensión y corriente de entrada y de batería obtenidos, agregando la cantidad de filas que se consideren necesarias.
 - d. El proceso de carga habrá finalizado una vez el amperímetro de la batería llegue a cero amperios (0 A).
 - e. A partir de los valores obtenidos en c, calcular la potencia de entrada y de batería para cada caso.
 - f. Cuando ya sean conocidos los valores de potencia de entrada y de batería, calcular la eficiencia para cada caso.
 - g. Elaborar una gráfica de tres ejes (tiempo-voltaje-corriente) en la que se muestren las variables de V_{IN} , V_{BAT-X} , I_{IN} y I_{BAT-X} .
 - h. Elaborar una gráfica de tres ejes (tiempo-potencia-eficiencia) en la que se muestren las variables de P_{IN} , P_{BAT-X} y eficiencia.
 - i. Repetir el procedimiento descrito para la batería faltante.
 - j. De acuerdo con las gráficas obtenidas, concluir la práctica.

Tabla 19. Carga de la batería

Tiempo (hh: mm: ss)	I_{in} (A)	V_{in} (V)	I_{bat} (A)	V_{bat} (V)	P_{in} (W)	P_{bat} (W)	Eficiencia (%)

Fuente: elaboración propia.

Práctica 8. Descarga de baterías de forma individual

Introducción: en el momento en que las baterías empiezan a suministrar energía al picosatélite inicia su proceso de descarga. Por tanto, es necesario caracterizar el comportamiento que cada una presenta en esta circunstancia.

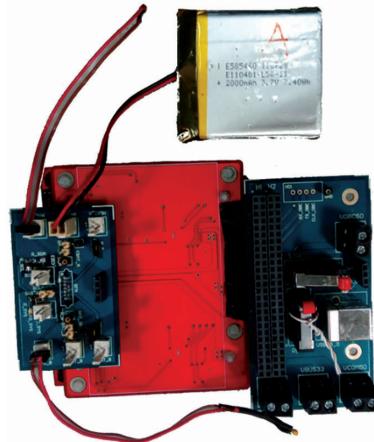
Objetivo: efectuar la descarga de las baterías, de forma individual.

Materiales:

- Versión 3 del EPS
- Una tarjeta para mediciones con cargas que simulan a los usuarios
- Una tarjeta adaptadora para realizar mediciones con baterías de Li-Ion sueltas
- Dos baterías de Li-Ion Poly
- Cuatro multímetros
- Una fuente de tensión regulada
- Un reóstato de $10\ \Omega$
- Conectores de potencia
- Jumpers

Procedimiento:

Figura 95. Conexión EPS v3 (descarga individual de baterías)



Fuente: elaboración propia.

Nota:

- Al momento de realizar la descarga de las baterías es necesario que estas estén totalmente cargadas para obtener una caracterización completa.
- Para realizar el proceso de descarga de baterías se debe contar con un tiempo entre una y dos horas.
- El procedimiento descrito a continuación debe ser realizado para cada una de las baterías (*A* y *B*) presentes en el EPS V3 de forma individual.
 - a. Con la fuente DC, dos voltímetros, dos amperímetros, un reóstato, una batería de Li-Ion Poly y las tarjetas de prueba, implementar el esquema mostrado en la figura 95.
 - b. Es necesario asegurarse de que tanto el RBF como el LSW estén oprimidos. Alimentar con un voltaje de entrada fijo de 5,0 voltios y establecer un valor de carga de $8,6 \Omega$, el cual debe estar conectado en el usuario de comunicaciones (V_{COM50}).
 - c. Una vez implementado en su totalidad y alimentado el esquema de la figura anterior, soltar ambos interruptores, con lo cual inicia el proceso de descarga de la batería. Simultáneamente, es necesario iniciar la

toma de mediciones en intervalos de tiempos que considere adecuados, para completar la tabla 20 con los valores de tensión y corriente de entrada y de batería obtenidos, agregando la cantidad de filas que se considere necesarias.

- d. El proceso de descarga habrá finalizado una vez el amperímetro de la batería llegue a cero amperios (0 A), que el amperímetro de la carga llegue también a cero amperios (0 A) y el voltímetro de la carga llegue a los cero voltios (0 V).
- e. A partir de los valores obtenidos en el literal c, calcular la potencia de entrada y de batería para cada caso.
- f. Conocidos los valores de potencia de entrada y de batería, calcular la eficiencia para cada uno de los casos.
- g. Elaborar una gráfica de tres ejes (tiempo-voltaje-corriente) en la que se muestren las variables de V_{IN} , V_{BAT-X} , I_{IN} y I_{BAT-X} .
- h. Elaborar una gráfica de tres ejes (tiempo-potencia-eficiencia) en la que se muestren las variables de P_{IN} , P_{BAT-X} y eficiencia.
- i. Repetir el procedimiento descrito en esta práctica para la batería faltante.
- j. De acuerdo con las gráficas obtenidas, concluir la práctica.

Tabla 20. Descarga de la batería

Tiempo (hh:mm:ss)	I_{bat} (A)	V_{bat} (V)	I_{out} (A)	V_{out} (V)	P_{bat} (W)	P_{out} (W)	Eficiencia (%)

Fuente: elaboración propia.

Práctica 9. Carga de baterías de forma combinada

Introducción: para el óptimo funcionamiento del picosatélite es indispensable usar baterías de Li-Ion Poly que estén en la capacidad de proporcionar la

energía necesaria para el buen desempeño de este objeto. Estas baterías entrarían a actuar en el caso de que los paneles solares no puedan suministrar energía, es decir, es un sistema de alimentación alternativo.

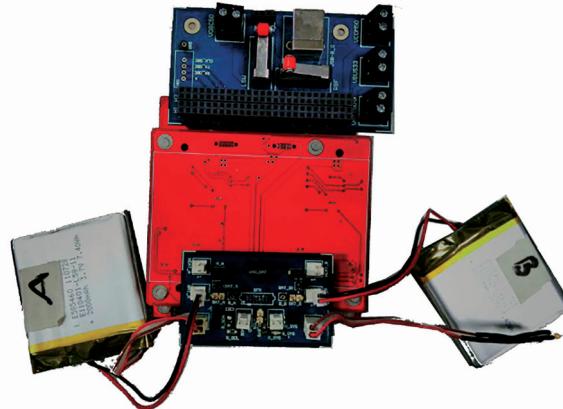
Objetivo: efectuar la carga de las baterías de forma combinada.

Materiales:

- Versión 3 del EPS
- Una tarjeta para mediciones con cargas que simulan a los usuarios
- Una tarjeta adaptadora para realizar mediciones con baterías de Li-Ion sueltas
- Dos baterías de Li-Ion Poly
- Seis multímetros
- Una fuente de tensión regulada
- Conectores de potencia
- Jumpers

Procedimiento:

Figura 96. Conexión EPS v3 (carga de ambas baterías)



Fuente: elaboración propia.

Nota:

- Al momento de realizar la carga de las baterías es necesario que estén totalmente descargadas, para obtener una caracterización completa.
- Para el proceso de carga de ambas baterías debe contarse con un tiempo de cuatro a seis horas.
 - a. Con la fuente DC, tres voltímetros, tres amperímetros, dos baterías de Li-Ion Poly y las tarjetas de prueba, implementar el esquema mostrado en la figura 96.
 - b. Asegurarse de que tanto el RBF como el LSW estén oprimidos. Enseguida, alimentar con un voltaje de entrada fijo de 5,0 voltios.
 - c. Una vez implementado en su totalidad y alimentado el esquema anterior, soltar ambos interruptores; así inicia el proceso de carga de baterías. Simultáneamente, iniciar la toma de mediciones en intervalos de tiempos que se considere adecuados, a fin de completar la tabla 21 con los valores de tensión y corriente de entrada y de baterías obtenidos, agregando la cantidad de filas que se piense necesarias.
 - d. El proceso de carga habrá finalizado una vez el amperímetro de ambas baterías llegue a los cero amperios (0 A).
 - e. A partir de los valores obtenidos en el literal c, calcular la potencia de entrada, potencia de la batería A, potencia de la batería B y potencia de salida. Es importante que se tenga en cuenta que la potencia de salida se obtiene sumando la potencia de las baterías.
 - f. Conocidos los valores de potencia de entrada y de baterías, calcular la eficiencia para cada uno de los casos.
 - g. Elaborar una gráfica de tres ejes (tiempo-voltaje-corriente) en la que se muestren las variables de I_{IN} , V_{IN} , I_{BATA} , V_{BATA} , I_{BATB} y V_{BATB} .
 - h. Elaborar una gráfica de tres ejes (tiempo-potencia-eficiencia) en la que se muestren las variables de P_{IN} , P_{BAT-A} , P_{BAT-B} , P_{OUT} y eficiencia.
 - i. De acuerdo con las gráficas obtenidas, concluir la práctica.

Tabla 21. Carga de ambas baterías

Tiempo (horas)	I_{in} (A)	V_{in} (V)	P_{in} (W)	$I_{bat\ A}$ (A)	$V_{bat\ A}$ (V)	$P_{bat\ A}$ (W)	$I_{bat\ B}$ (A)	$V_{bat\ B}$ (V)	$P_{bat\ B}$ (W)	P_{out} (W)	Eficiencia (%)

Fuente: elaboración propia.

Práctica 10. Descarga de baterías de forma combinada

Introducción: en el momento en que las baterías empiezan a suministrar energía al picosatélite inicia su proceso de descarga. Por tanto, es necesario caracterizar el comportamiento que presentan en esta circunstancia.

Objetivo: efectuar la descarga de las baterías de forma combinada.

Materiales:

- Versión 3 del EPS
- Una tarjeta para mediciones con cargas que simulan a los usuarios
- Una tarjeta adaptadora para realizar mediciones con baterías de Li-Ion sueltas
- Dos baterías de Li-Ion Poly
- Seis multímetros
- Una fuente de tensión regulada
- Un reóstato de $10\ \Omega$
- Conectores de potencia
- Jumpers

Procedimiento:

Figura 97. Conexión EPS v3 (descarga de ambas baterías)



Fuente: elaboración propia.

Nota:

- Al momento de llevar a cabo la descarga de las baterías es necesario que estén totalmente cargadas, para obtener una caracterización completa.
- Para realizar el proceso de descarga de ambas baterías, debe contarse con un tiempo de una a dos horas.
 - a. Con la fuente DC, tres voltímetros, tres amperímetros, un reóstato, dos baterías de Li-Ion Poly y las tarjetas de prueba, implementar el esquema mostrado en la figura 97.
 - b. Asegurarse de que tanto el RBF como el LSW estén oprimidos. Acto seguido, alimentar con un voltaje de entrada fijo de 5,0 voltios, y establecer un valor de carga de $4,8 \Omega$, el cual debe estar conectado en el usuario de comunicaciones (V_{COM50}).
 - c. Una vez implementado en su totalidad y alimentado el esquema anterior, soltar ambos interruptores. Con ello, inicia el proceso de descarga de baterías. Simultáneamente, inicie la toma de mediciones en intervalos de tiempos que considere adecuados, a fin de completar la tabla 22 con los valores de tensión y corriente de entrada y de baterías obtenidos, agregando la cantidad de filas que considere necesario.

- d. El proceso de descarga habrá finalizado una vez los amperímetros de las baterías lleguen a los cero amperios (0 A), que el amperímetro de la carga llegue también a cero amperios (0 A) y el voltímetro de la carga llegue a los cero voltios (0 V).
- e. A partir de los valores obtenidos en el literal c, calcular la potencia de entrada y potencia de ambas baterías para cada caso.
- f. Una vez conocidos los valores de potencia de entrada y de baterías, calcular la eficiencia para cada uno de los casos.
- g. Elaborar una gráfica de tres ejes (tiempo-voltaje-corriente) en la que se muestren las variables de I_{out} , V_{out} , I_{BATA} , V_{BATA} , I_{BATB} y V_{BATB} .
- h. Elaborar una gráfica de tres ejes (tiempo-potencia-eficiencia) en la que se muestren las variables de P_{in} , P_{BAT-A} , P_{BAT-B} y eficiencia.
- i. De acuerdo con las gráficas obtenidas, concluir la práctica.

Tabla 22. Descarga de ambas baterías

Tiempo (horas)	I_{batA} (A)	V_{batA} (V)	P_{batA} (W)	I_{batB} (A)	V_{batB} (V)	P_{batB} (W)	P_{in} (W)	I_{out} (A)	V_{out} (V)	P_{out} (W)	Eficiencia (%)

Fuente: elaboración propia.

Práctica 11. Programación módulo de potencia

Introducción: a diferencia del módulo de comunicaciones, el módulo de potencia tiene como prueba final su programación. Esto se debe a que su etapa final es la transferencia de energía a los usuarios. Para ello, deben habilitarse los circuitos integrados que posee, por medio de CrossStudio for MSP430.

Objetivo: aprender a programar el módulo de potencia.

Materiales:

- Versión 3 de EPS
- Un computador
- Una cinta para programar AWM
- CrossStudio for MSP430 instalado

Procedimiento:

- a. Conectar el adaptador externo como fuente de poder de 5,0 voltios al Jack J1 de la tarjeta de desarrollo. Deben encenderse los ledes D10, D11 y D13.
- b. Utilizando la cinta AWM, conectar el módulo de potencia a la tarjeta de desarrollo con los conectores JTAG-FPC.
- c. Por medio de la interfaz de programación y compilación MSP-FET430UIF, conectar la tarjeta de desarrollo al computador. En este momento debe encenderse el led Power.
- d. Ejecutar el *software* CrossStudio for MSP430. Cargar el proyecto ‘ON_OFF_Colombia_1’ de la carpeta “Habilitación IC’s ModPot” (figura 98).

Figura 98. Programa módulo de potencia

```
#include <msp430.h>

/*
 * main.c
 */
int main(void) {
    WDTCTL = WDTPW | WDTHOLD; // Stop watchdog timer
    P1OUT = 0;
    P2OUT = 0;
    P1DIR |= BIT7;
    P2DIR |= BIT1 + BIT3;
    P1OUT |= BIT7;
    P2OUT |= BIT1 + BIT3;
    return 0;
}
```

Fuente: elaboración propia.

- e. En la barra de herramientas, poner el puntero sobre *Target*, luego sobre *Connect* y seleccionar la opción MSP-FET430UIF(V3). El led Mode de

la interfaz de programación debe encenderse y, en el computador, debe evidenciarse dicha conexión.

- f. En la barra de herramientas poner el puntero sobre *Build*; de la lista que se despliega seleccionar *Build Project*. En la ventana *Output* debe aparecer que la solución ha sido construida de manera correcta.
- g. Por último, poner el puntero sobre *Debug* y oprimir *Go*. De esta forma, el módulo de potencia habrá sido programado.

Capítulo 8. Integración de subsistemas

Este capítulo está dedicado a las consideraciones que deben tenerse en cuenta a la hora de integrar los diferentes subsistemas que conforman el proyecto general del CubeSat-UD, en sus fases de ensamble. Estos lineamientos son necesarios para la interacción de los diferentes módulos o subsistemas que conforman el satélite unido a la verificación de pruebas y demás requisitos de estación terrena, junto con otros aspectos para ensamblar el satélite.

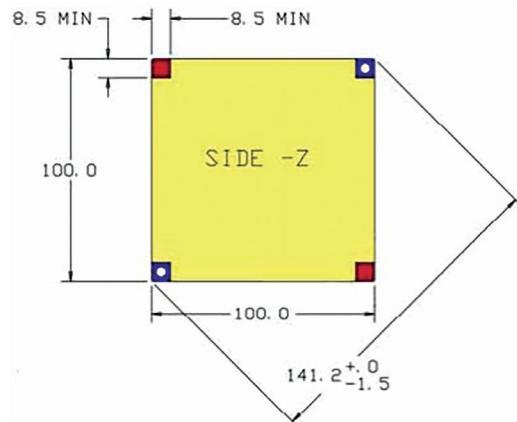
Requerimientos técnicos y condiciones para el protocolo de integración

Los requerimientos generales para la integración del satélite contemplan una serie de características mecánicas, físicas, eléctricas y operacionales que, a medida de que se cumplan, se obtendrá una integración exitosa del sistema (Moreno y Sánchez, 2013). Asimismo, proporcionarán suficientes garantías para pasar las pruebas del sistema integrado, con miras al lanzamiento exitoso.

Requerimientos mecánicos

El picosatélite CubeSat-UD está construido en forma de un cubo de 100 mm de lado. En la figura 99 se observan con más detalle las medidas requeridas por el estándar internacional, las cuales debe cumplir todos los picosatélite de tipo CubeSat (Lee *et al.*, 2009).

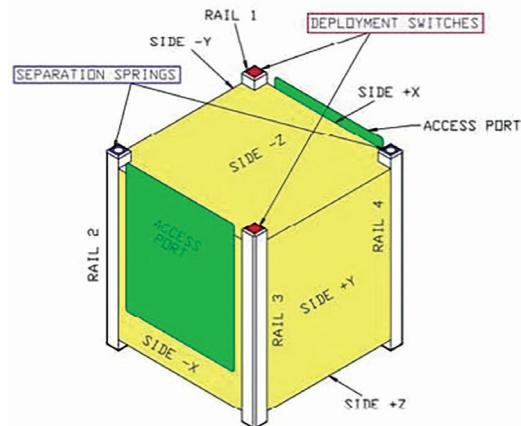
Figura 99. Dimensiones del satélite CubeSat



Fuente: Moreno y Sánchez (2013).

El CubeSat utiliza el sistema de coordenadas definido en la figura 100 (Lee *et al.*, 2009). La cara -Z del CubeSat se insertará de primera, dentro del P_POD (vehículo de lanzamiento).

Figura 100. Sistema de coordenadas CubeSat



Fuente: Moreno y Sánchez (2013).

Características que deben tenerse en cuenta para integración:

1. El CubeSat debe ser de $100,0 \pm 0,1$ mm de ancho (dimensiones de los lados X e Y); y un solo lado (dimensión Z) del CubeSat será de altura $113,5 \pm 0,1$ mm.

2. Los componentes exteriores del CubeSat no deben tener contacto con la capa interior del P-POD. Únicamente podrán tener contacto los rieles designados por el estándar internacional CubeSat.
3. Los sistemas desplegables que conforman el picosatélite deben estar forzados o asegurados por el mismo sistema, en ningún caso deberá depender de los rieles y paredes del P-POD.
4. El riel dentro del P-POD tendrá un ancho mínimo de 8,5 mm, esto para garantizar el acople de los CubeSat. Estos rieles no tendrán una rugosidad superficial mayor a 1,6 μm y sus bordes serán alrededor de un radio menor que un milímetro (1 mm).

Adicionalmente, debe tenerse en cuenta que los requerimientos internacionales plantean que el picosatélite no debe exceder los 1,33 kg; su centro de gravedad debe localizarse dentro de una esfera imaginaria de 2,0 cm alrededor del centro geométrico del cubo. Por otro lado, el material en el que deben estar construidos los rieles y la estructura del picosatélite es aluminio 7075, o bien aluminio 606.

El CubeSat usará resortes de separación, construidos en acero inoxidable (Lee *et al.*, 2009). Estos resortes de separación proporcionan una relativa separación entre el CubeSat dentro del P-POD y aislan los picosatélites, en caso de que vayan más de uno en el mismo vehículo.

Requerimientos eléctricos

Los sistemas electrónicos para cada subsistema del picosatélite deben ser diseñados teniendo en cuenta las siguientes características de seguridad:

1. Ningún sistema electrónico debe estar activo durante el lanzamiento. Esto, con el fin de prevenir interferencias eléctricas o de radiofrecuencia con el vehículo de lanzamiento o cargas útiles principales.
2. Las baterías de los CubeSat deben estar totalmente desactivadas durante el lanzamiento o descargadas.
3. El CubeSat debe incluir, por lo menos, un interruptor de despliegue en el riel (*standoff*), designado para apagar completamente la fuente de poder del satélite una vez actúe. En el estado (actuando), el interruptor de despliegue debe estar centrado en o debajo del nivel (*standoff*).

4. Todos los sistemas deben estar apagados, incluyendo los relojes de tiempo real.
5. Para permitir los diagnósticos y la carga de las baterías después de que el CubeSat haya sido integrado al P-POD, todos los conectores umbilicales deben estar en el puerto de acceso asignado, sombras verdes mostradas (figura 100).
6. El CubeSat debe incluir un pin “RBF” (Remove Before Flight, por sus siglas en inglés) o ser lanzado con baterías totalmente descargadas. El pin RBF debe ser removido del CubeSat después de la integración en el P-POD. El pin RBF debe ser accesible desde el puerto de acceso y cortar toda fuente de poder del satélite una vez este es insertado. El pin RBF no debe sobresalir más de 6,5 mm de los rieles cuando esté totalmente integrado el sistema y montado en el vehículo de lanzamiento.

Requerimientos operacionales

- Los CubeSat deben cumplir ciertos requerimientos relacionados con la integración y operación y obligaciones legales. Adicionalmente, deben asegurar y garantizar la seguridad de otros CubeSat (Lee *et al.*, 2009).
- Los CubeSat con baterías y, ya en órbita, deben tener la capacidad de recibir un comando de apagado, transmitido desde tierra; esto, por regulación de la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) de Estados Unidos, si se lanza desde allí.
- Todos los desplegables del sistema, como antenas y paneles solares, deben esperar para ser activados por lo menos treinta minutos después de que el interruptor de despliegue (LSW) sea activado por la expulsión desde el P-POD en el espacio.
- Los transmisores RF incorporados al picosatélite con potencias mayores a 1 mW deben esperar para transmitir mínimo treinta minutos después de que el switch de despliegue sea activado por la expulsión desde el P-POD.
- Los operadores deben obtener y proveer la documentación de las licencias apropiadas de radiofrecuencias en sus respectivos países.

- El tiempo que tarda el picosatélite en caer a la tierra deberá ser inferior a 25 años, después del final de vida de la misión.
- Los desarrolladores del picosatélite deben tener aceptación y proveer documentación y un plan de mitigación de desechos orbitales del FCC o una agencia local.
- El proveedor del lanzamiento debe llevar a cabo, como mínimo, una comprobación de ajuste en el que se inspeccione el *hardware* integrado en el P-POD.
- Un chequeo final se llevará a cabo antes del lanzamiento. La lista de verificación de aceptación CubeSat (CAC) se utilizará para verificar el cumplimiento de la especificación internacional (Lee *et al.*, 2009).

Para que el picosatélite cumpla estos requerimientos generales de integración es necesario que se efectúen no solo a nivel estructural, sino que deben desglosarse los requisitos específicos de los subsistemas. En la tabla 23 se aprecia el estado actual de cumplimiento de los requerimientos mencionados.

Tabla 23. Cumplimiento de requerimientos

Requerimiento	Módulo	Estado	Observaciones
Implementación interruptor RBF	Estructura y OBC	Cumplido	Ninguna
Implementación interruptor de despliegue en el riel	Estructura y OBC	Cumplido	Ninguna
El pin RBF debe cortar toda fuente de poder del satélite una vez este es insertado	Potencia y OBC	Cumplido	Ninguna
Apagar completamente la fuente de poder del satélite una vez actúe el interruptor de despliegue de riel	Potencia	Cumplido	Ninguna
Despliegue de antenas 30 minutos después de la expulsión	Comunicaciones	Pendiente	Implementar en <i>software</i> reloj de despliegue

Fuente: elaboración propia.

Requerimientos de integración modular

Para lograr la integración de los subsistemas a nivel eléctrico y lógico se hace uso del bus PC/104 (Embedded Consortium, 2008). Para esto, es necesario definir los puertos que usará cada subsistema; debe tenerse en cuenta la distribución en el bus eléctrica y lógica para que ningún subsistema quede aislado de las comunicaciones al interior del picosatélite.

PC/104 es un estándar para lograr módulos compatibles de un sistema, donde son apilados para crear un sistema u ordenador integrado. Estos tipos de sistema se encuentran, a menudo, en la industria para proporcionar un control programable de un sistema complejo. El bus funciona similar al de un PC, solo se diferencia de un factor de forma diferente, y es que es apilable con 104 pines. Los productos basados en PC/104 están diseñados para un consumo mínimo de energía, tamaño reducido, modularidad, capacidad de expansión y robustez, necesidades primordiales para lograr la integración exitosa del picosatélite CubeSat-UD Colombia 1.

A continuación, se presentan las especificaciones mecánicas y técnicas para el bus PC/104, para la optimización de los requerimientos únicos para sistemas embebidos y sus aplicaciones. Este bus está basado en 104 contactos de señal en dos conectores, los cuales son H1 y H2 con 52 pines cada uno.

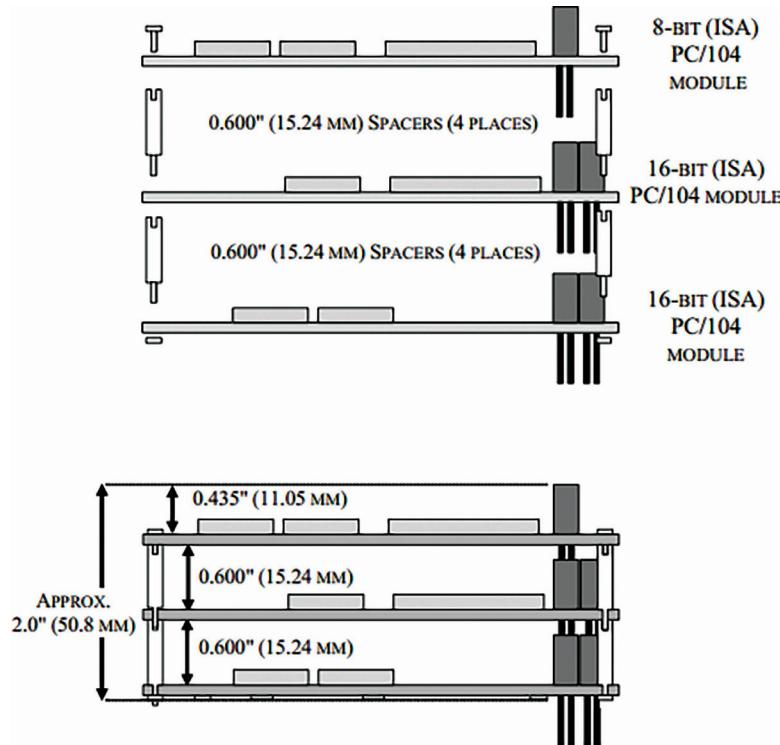
Las principales ventajas del bus son las siguientes

1. Reducción del factor de forma de 96 a 90 mm.
2. Elimina la necesidad de cajas para las tarjetas, a través de su propio bus de autoapilamiento.
3. Minimiza el consumo de energía a típicamente 1,0 o 2,0 vatios por módulo, mediante la reducción del conductor en el bus en la mayoría de las señales a 4,0 mA.

El estándar PC/104 especifica dos versiones de módulo (8-bit o bien 16-bit), los cuales corresponden a los buses implementados PC y PC/AT, respectivamente. Estas referencias fueron tomadas de la ISA y EISA teoría y operación (Embedded Consortium, 2008).

En la figura 101 se muestra la forma de apilamiento de los módulos sobre el bus; de esta manera se logra robustez y ahorro de energía, características necesarias para la correcta integración del picosatélite.

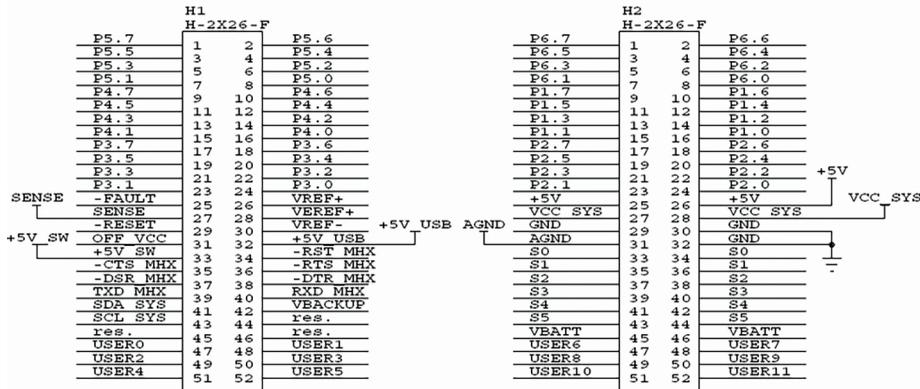
Figura 101. Apilamiento de módulos en BUS PC/104



Fuente: Moreno y Sánchez (2013).

Finalmente, en la figura 102 se muestra la distribución inicial del bus para el picosatélite, predeterminada por OBC. A partir de esta, se hacen los diseños de distribución y uso del bus para los demás subsistemas.

Figura 102. Bus PC/104 predeterminado por OBC CubeSat-UD



Fuente: Moreno y Sánchez (2013).

Capítulo 9. Protocolo de integración y su validación ante estándares internacionales

Fase 1. Protocolo de verificación por cada subsistema

La revisión de cada subsistema es indispensable para generar un modelo de protocolo de integración. Es necesario que los subsistemas del picosatélite cumplan con características físicas como tamaño, peso y volumen, a fin de modelar el procedimiento mediante el cual se integrará al sistema. Con base en una serie de revisiones individuales, comenzando por las físicas, se otorgará la aprobación para que el subsistema pase a ser evaluado en otra serie de requerimientos para la integración. Si el subsistema es compatible, cumple con las exigencias técnicas del filtro y el equipo de integración lo considera listo, así se dará paso a la siguiente evaluación. La verificación de la masa de los subsistemas se actualiza en una tabla, con los presupuestos de masa que tienen o deben cumplir los subsistemas y módulos (tabla 24).

Tabla 24. Masa de subsistemas CubeSat-UD

Nombre	Peso (gramos)
Módulo de vuelo F430 (OBC)	82,5
EPS (principal y auxiliar) GITEM	81
Set de baterías	123,4
Estructura	110
Módulo despliegue de antenas	136
Subtotal	532,9
Paneles solares	Máximo 80

Nombre	Peso (gramos)
Comunicaciones	Máximo 100
ADCS	Máximo 80
Actuadores	Máximo 100
Total	892,9

* Peso disponible: 437,1 gramos

Fuente: elaboración propia.

Luego de que los diferentes subsistemas son aprobados por la evaluación de requerimientos físicos es necesario formular un nuevo filtro para integrar el subsistema. Este contempla una serie de verificaciones del correcto funcionamiento del sistema, como consumos de potencia y características del funcionamiento específico.

Con base en los diseños implementados del subsistema y los requerimientos para la integración, se evalúa su óptimo desempeño y el estado de la electrónica. La evaluación del comportamiento del módulo a temperaturas extremas y en condiciones de vacío no puede realizarse, dadas las limitaciones del laboratorio.

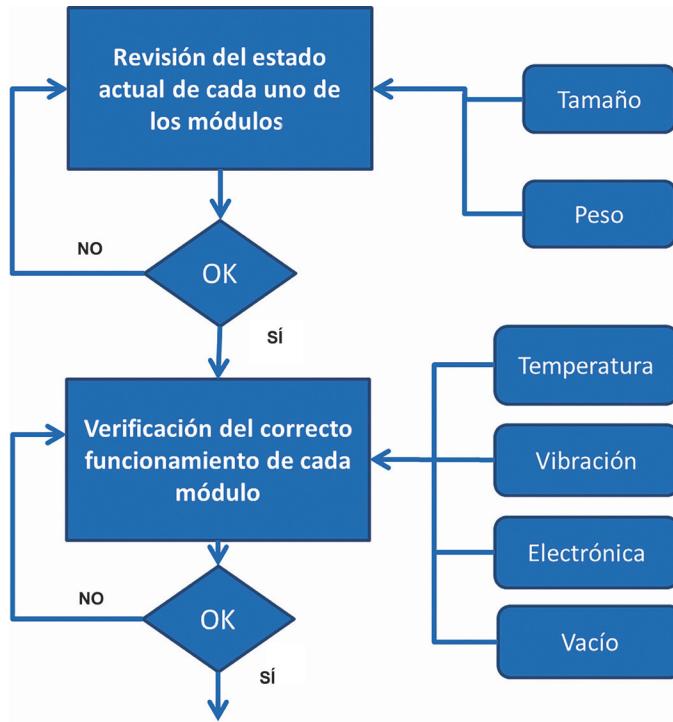
Al momento de revisar los dispositivos usados en el ensamble de los PCB correspondientes a los subsistemas, debe verificarse el cumplimiento de las normas de materiales usados en el espacio, por ejemplo, los condensadores electrolíticos (National Aeronautics and Space Administration [NASA], s.f.). Por este motivo, no deben ser considerados, ya que pueden generar explosiones por expansión del aire en el vacío.

Es indispensable tener en cuenta un diseño único del uso del BUS PC/104, ya que en dado caso por falta de comunicación o sincronización entre los diferentes equipos de los subsistemas, pueden presentarse situaciones en las que dos módulos usen un mismo puerto para funciones distintas. Esto puede suceder ya que, algunas veces, (1) los equipos de trabajo se encuentran fragmentados; o (2) no se presentó un diseño adecuado al inicio del proyecto de integración ni uso del bus correcto, desde el inicio del proyecto.

Una vez finalizada la fase de verificación individual de cada subsistema, se generan modelos de integración, evaluando los dispositivos extra por subsistema. Estos son necesarios de tener en cuenta a la hora de la instalación,

por ejemplo, los actuadores del subsistema de actitud, los transceiver del subsistema de comunicaciones, o bien el sistema de despliegue de antenas (figura 103).

Figura 103. Fase 1 del protocolo de verificación individual de subsistemas



Fuente: elaboración propia.

Integración de los paneles solares

Los paneles solares deben ser manipulados, únicamente, en un cuarto limpio, de lo contrario podrían sufrir daño. Debe tenerse extrema precaución al exponerlos a excesiva luz, ya que esto puede afectar su vida útil en el espacio. Al soldar los conectores a los paneles solares, es indispensable evitar que fragmentos de soldadura se dispersen sobre las celdas solares, ya que podrían causar daños irreversibles sobre el panel. Además, es necesario evitar que se sometan a cualquier tipo de esfuerzo mecánico, es decir, no doblarlos, golpearlos o tirarlos, ya que las celdas solares podrían sufrir daños graves e irreversibles.

Si se desea realizar algún tipo de limpieza al panel solar, es necesario evitar el uso de paños o materiales que generen estática, ya que los sensores o las celdas solares podrían sufrir daños. Al momento de ensamblar, debe tenerse cuidado, evitando que quede alguna burbuja de aire encerrada, pues puede ser un problema grave al momento de que el sistema ya esté en órbita por expansión del aire en el vacío.

Integración del set de baterías

El set de baterías debe ser probado de acuerdo con su diseño, características y funcionamiento. Deben verificarse (1) el ciclo de carga de las baterías, (2) el estado de los sensores de corriente y voltaje y (3) el correcto desempeño de los calentadores a condiciones ambiente y extremas de temperatura. Si hay un corto circuito a la salida de las baterías o se sobrepasa el valor de corriente límite establecida por el usuario, las baterías deben desconectarse momentáneamente para reiniciar el limitador de corriente, tratamiento que debe ser realizado automáticamente por el subsistema de potencia EPS.

Fase 2. Picosatélite como sistema único integrado

Al diseñar un protocolo de integración, es necesario visualizar el sistema, en este caso el picosatélite, como un sistema único, integrado por varios subsistemas fundamentales para su funcionamiento. Debe tenerse en cuenta la compatibilidad entre los subsistemas, ya sea física y de distribución del bus, o de distribución de masa; es importante fijarse en la distribución dentro de la estructura para lograr el óptimo desempeño del control de actitud.

El acople entre los subsistemas principales debe ser *plug and play*, por intermedio del BUS PC/104 y soportado por la estructura del satélite. Además, es recomendable que las conexiones de dispositivos externos al módulo se realicen con conectores con seguros, ya que deben garantizar que no se desconecten durante el lanzamiento. El uso de un conector de baja calidad significaría problemas serios en la desconexión, por ejemplo, de un actuador o del mismo sistema de despliegue; y sin este sería imposible una comunicación cuando el satélite ya esté en órbita.

La segunda fase del protocolo de integración consiste en el diseño de la forma o el protocolo a seguir para el montaje de los subsistemas al picosatélite

y ver el sistema integrado. Para la integración de cada subsistema, se presenta el siguiente uso del BUS PC/104, diseñado por GITEM, y basándose en el diseño predeterminado del bus de OBC de Pumpkin (tabla 25).

Tabla 25. Diseño uso del BUS PC/104 para Colombia-1

BUS PC/104			
H1		H2	
1	2	1	2
3	4	3	4
5	6	5	6
7	8	7	8
9	10	9	10
11	12	11	12
13	14	13	14
15	16	15	16
17	18	17	18
USART_COM_Tx 19	USART_COM_Rx 20	X_P 19	Clk_P 20
I2C_SCL_MSP 21	22	RxD_P 21	22
I2C_SDA_MSP 23	24	TxD_P 23	24
25	26	V-OBC 25	V-OBC 26
27	28	27	28
29	30	GND 29	GND 30
31	V-USB 32	GND 31	GND 32
33	34	S0 33	S0 34
35	36	S1 35	S1 36
37	38	S2 37	S2 38
39	40	S3 39	S3 40
I2C_SDA_SYS 41	42	S4 41	S4 42
I2C_SCL_SYS 43	44	S5 43	S5 44
45	46	45	46
Desp1_PWM_1 47	Desp2_PWM_2 48	D_Signal_1 47	D_Signal_2 48
V-Bus3.3 49	V-Bus3.3 50	I2C-ADCS_SDA 49	I2C-ADCS_SLC 50
V-ADCS 51	V-ADCS 52	V-COM 51	V-COM 52

Fuente: elaboración propia.

Si se desea usar la comunicación I2C con OBC, deben configurarse los pines del MSP430, de forma que P3.1 SDA (H1.23) y P3.3 SCL (H1.21). Para la comunicación I2C intermodular que no requiera de OBC, pueden usarse los puertos H1 .41 y .43 sugeridos.

En la tabla 26 se explica de manera detallada el uso del bus con la respectiva descripción de cada uno de los puertos de servicio.

Tabla 26. Descripción del uso del BUS PC/104 para Colombia-1

Puerto	Bus	Nombre	Descripción
19	H1	USART_COM_Tx	Comunicación USART entre módulos OBC_COM (OBC_Rx)
20	H1	USART_COM_Rx	Comunicación USART entre módulos OBC_COM (OBC_Tx)
21	H1	I2C_SCL_MSP	Comunicación directa de OBC_I2C (reloj)
23	H1	I2C_SDA_MSP	Comunicación directa de OBC_I2C (datos)
32	H1	V-USB	Bus de alimentación por USB 5 V
41	H1	I2C_SDA_SYS	SDA de comunicación I2C de sistema, sin OBC
43	H1	I2C_SCL_SYS	SCL de comunicación I2C de sistema, sin OBC
47	H1	Desp1_PWM_1	Señal de entrada a despliegue de antenas 1 (PWM_1)
48	H1	Desp2_PWM_2	Señal de entrada a despliegue de antenas 2 (PWM_2)
49	H1	V-Bus3.3	Bus de alimentación microcontroladores 3.3 V
50	H1	V-Bus3.3	Bus de alimentación microcontroladores 3.3 V
51	H1	V-ADCS	Bus de alimentación ADCS 5 V
52	H1	V-ADCS	Bus de alimentación ADCS 5 V
19	H2	X_P	Comunicación OBC-POT (P2.5, OBC) (P5.0, POT)
20	H2	CLK_P	Comunicación OBC-POT (P2.4, Clk_OBC) (P5.3, POT)
21	H2	RxD_P	Comunicación OBC-POT (P2.3, OBC_Rx) (P5.1, POT_Tx)
23	H2	TxD_P	Comunicación OBC-POT (P2.1, OBC_Tx) (P5.2, POT_Rx)
25	H2	V-OBC	Bus de alimentación OBC 5 V
26	H2	V-OBC	Bus de alimentación OBC 5 V
29	H2	GND	Tierra del sistema
30	H2	GND	Tierra del sistema
31	H2	GND	Tierra del sistema

Puerto	Bus	Nombre	Descripción
32	H2	GND	Tierra del sistema
33	H2	S0	Normalmente cerrado VCELL (RBF)
34	H2	S0	Normalmente cerrado VCELL (RBF)
35	H2	S1	Normalmente cerrado GND BAT
36	H2	S1	Normalmente cerrado GND BAT
37	H2	S2	Normalmente abierto USB
38	H2	S2	Normalmente abierto USB
39	H2	S3	Interruptor LSW
40	H2	S3	Interruptor LSW
41	H2	S4	Voltaje de entrada de baterías
42	H2	S4	Voltaje de entrada de baterías
43	H2	S5	GND
44	H2	S5	GND
47	H2	D_Signal_1	Señal de despliegue de antena PWM_1
48	H2	D_Signal_2	Señal de despliegue de antena PWM_2
49	H2	I2C_ADCS_SDA	Datos de sensores I2C vector solar
50	H2	I2C_ADCS_SCL	Clock I2C ADCS para sensor vector solar
51	H2	V-COM	Bus de alimentación COM 5 V
52	H2	V-COM	Bus de alimentación COM 5 V

Fuente: elaboración propia.

Recomendaciones para buenas prácticas en la integración satelital:

1. Para lograr un correcto ensamblaje del picosatélite debe seguirse cuidadosamente el estándar CubeSat. Los subsistemas que no cumplan con el estándar no serán aceptados para la integración al sistema.
2. La estructura debe ser lo más fuerte posible, de materiales con características que garanticen un óptimo comportamiento durante el lanzamiento y en condiciones espaciales.
3. Usar elementos de fijación (pegamentos) tan poco como sea posible, lo cual reduce probabilidades de fallo.
4. Es necesario tener cuidado con la distribución de los subsistemas y el peso completo del sistema.

5. Tener en cuenta en el momento del ensamblaje y distribución que el centro de masa debe estar localizado en un radio imaginario de 2,0 centímetros alrededor del centro geométrico de la estructura.
6. En lo posible, no utilizar cables que vayan de un punto a otro. Se recomienda usar módulos adaptables.
7. Utilizar procesadores de bajo consumo en las diferentes PCB de los subsistemas incorporados a la solución del proyecto satelital, en lo posible menores a 25 mW.
8. En lo posible, usar un transceiver de uso comercial, que cumpla con los requerimientos de trasmisión y recepción. Esto es mejor para un sistema fiable de comunicaciones.
9. La electrónica del satélite tiene que ser eléctricamente blindada.
10. El *software* debe estar tan optimizado como sea posible, para cumplir con los requerimientos de misión y funciones propias del picosatélite.
11. Se recomienda mantener simple el *software*, y elegir procesadores bien conocidos por el equipo, para facilitar su implementación.
12. Si, realizando la integración del picosatélite, en algún momento se llega a necesitar un pegamento, es recomendable usar uno aprobado por la NASA para misiones espaciales, por ejemplo, la silicona, para evitar las vibraciones (RTV612).

Al implementar los módulos, debe tenerse especial cuidado con el peso y la distribución de la masa en la estructura integrada, ya que, según estándares internacionales, el peso del satélite no puede exceder los 1,33 kilogramos, y su centro de masa debe ubicarse en un radio de dos centímetros del centro geométrico de la estructura. El sistema integrado debe cumplir, obligatoriamente, con los requerimientos generales, mecánicos, eléctricos y operacionales especificados en el capítulo 3 y en el estándar internacional.

Conclusiones

Para el desarrollo de un proyecto espacial y, en general, para cualquier proyecto que pretenda llevarse a cabo es de vital importancia estructurar un equipo de trabajo, así como la asignación de tareas específicas. Además, debe establecerse una jerarquía, con el fin de asignar niveles de responsabilidad. Para el caso específico de las prácticas de laboratorio de picosatélites, fue de gran ayuda haber desarrollado trabajo por módulos, pues, al considerarse una estructura modular, se da por sentado que existe la posibilidad de realizar pruebas de manera individual a cada módulo.

A partir de la realización de las pruebas propuestas para cada módulo de un picosatélite, es posible lograr que quien realice estas pruebas tenga un aprendizaje significativo, llevando a la práctica la teoría que debió ser tenida en cuenta como preparación.

Para realizar la prueba piloto de cada módulo, se vio la necesidad de implementar varias prácticas que validen el funcionamiento y el alcance de cada uno de estos, contemplando la mayor cantidad de variables y detalles que puedan presentarse, cuando se pretenda preparar el picosatélite para vuelo. Todo esto fue tenido en cuenta basado en la documentación existente para cada módulo.

Para la composición de cada uno de los bancos de trabajo propuestos para la implementación del laboratorio, se realizó una lista de chequeo (*checklist*), con el fin de conocer los implementos y materiales necesarios para realizar las prácticas.

Con el fin de comprobar la factibilidad de las prácticas propuestas, se desarrolló cada práctica, obteniendo tanto los resultados satisfactorios como los no satisfactorios, por medio de tablas y gráficas.

Es importante tener en cuenta que debe existir siempre un trabajo en equipo, pues detalles importantes como el uso de determinados conectores o distribución de pines debe ser acatado por todos los integrantes del equipo, con el fin de que, al momento de unificar los módulos, no existan problemas de compatibilidad.

Referencias

Ávila, M. A. (2011a). *Grupo de control de actitud y mecánica orbital* (Tesis de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas). Bogotá.

Ávila, M. A. (2011b). *Modelamiento del sistema control de orientación para un picosatélite* (Tesis de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas). Bogotá.

Embedded Consortium. (2008, 13 de octubre). *PC/104 Specification, Version 2.6.* https://pc104.org/wp-content/uploads/2015/02/PC104_Spec_v2_6.pdf

GS-232B. Computer Control Interface for Antenna Rotators. (2018). http://gatortradio.org/Manuals/Yaesu_GS-232B_Manual.pdf

Instruction manual G-5500. (2018). <https://www.inradio.pl/images/stories/virtuemart/product/G5500-rotor-yaesu-instrukcja.pdf>

Kenwood Corporation. (2018). *Manual de instrucciones TM-D700.* <http://manual.kenwood.com/files/TM-D700-Spanish.pdf>

Lee, S., Hutputanasin, A., Toorian, A., Lan, W. y Munakata, R. (2009). *CubeSat Design Specifications.* California Polytechnic State University.

Manual de seguridad en sala blanca. (2018). <https://www.ntc.upv.es/documents/Manual%20de%20Seguridad%20en%20Sala%20Blanca.pdf>

Moreno, A. J. y Sánchez, C. A. (2013). *Diseño del sistema de integración de sub-sistemas, análisis y pruebas del picosatélite Cubesat-UD Colombia-1.* (Tesis de Grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas). Bogotá.

National Aeronautics and Space Administration [Nasa]. (2013). *General environmental verification standard (GEVS).* <https://standards.nasa.gov/standard/gsfc/gsfc-std-7000>

National Aeronautics and Space Administration [Nasa]. (s. f.). *Outgassing data for selecting spacecraft materials*. <http://outgassing.nasa.gov>

Penagos, J. D. (2015). *Desarrollo de la tarjeta TNC en DSP para el picosatélite CubeSat-UD Colombia-1*. (Tesis de Grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas). Bogotá.

Precision SWR–Power Meter. (2018). <https://www.diamondantenna.net/pdf-docs/SX200&400.pdf>

Rodríguez, H. F. y Aparicio, L. E. (2017). Guía de pruebas y protocolos para el lanzamiento del satélite Colombia I. *Redes de Ingeniería*, 68-73. <https://doi.org/10.14483/2248762X.11993>

Anexo 1. Lista de comandos controlador serial Yaesu GS-232B

A continuación, se presenta una lista de comandos con su descripción. Sobra decir que en esta lista se encuentran solo los más relevantes y necesarios para la óptima configuración de cada rotor:

- A Detiene la rotación de azimut.
- E Detiene la rotación de elevación.
- R Empieza rotación en azimut en el sentido de las agujas del reloj.
- L Empieza rotación en azimut en el sentido contrario a las agujas del reloj.
- U Empieza rotación en elevación hacia arriba.
- D Empieza rotación en elevación hacia abajo.
- S Cancela el comando actual antes de su finalización.
- C Devuelve el ángulo actual de azimut en la forma “AZ=aaa” grados.
- B Devuelve el ángulo actual de elevación en la forma “EL=eee” grados.
- C2 Retorna azimut y elevación (“AZ=aaa EL=eee”, donde “aaa” = azimut, “eee” = elevación).
- O Empieza la rutina de calibración de *offset* de azimut.
- O2 Empieza la rutina de calibración de *offset* de elevación.
- F Empieza la rutina de calibración a escala completa de azimut.
- F2 Empieza la rutina de calibración a escala completa de elevación.

P36 Cambia el ángulo de azimut al modo de 360 grados.

P45 Cambia el ángulo de azimut al modo de 450 grados.

Xn Selecciona la velocidad de giro del rotor de azimut, con $n = 1$ (más lento) hasta $n = 4$ (más rápido). La consecuencia de este comando se evidencia durante la rotación en azimut. Además, no hay equivalente para elevación.

Maaa Gira hasta “aaa” grados el valor de azimut, donde “aaa” es un número de tres dígitos comprendido entre 000 y 360 o 450 (según el modo del rotor). El movimiento empieza con la ejecución del comando.

Waaa eee Gira hasta “aaa” grados el valor de azimut y “eee” grados el valor de elevación, donde “aaa” es un número de tres dígitos, comprendido entre 000 y 360 o 450 (según el modo del rotor); y “eee” es un número de tres dígitos, comprendido entre 000 y 180. Aquí, es importante mencionar que debe completarse con ceros a la izquierda, con el fin de garantizar que siempre sea un número de tres dígitos. El movimiento en ambos rotores empieza con la ejecución del comando.

P36 Establece el modo 360 grados.

P45 Establece el modo 450 grados.

Autores

Lilia Edith Aparicio Pico

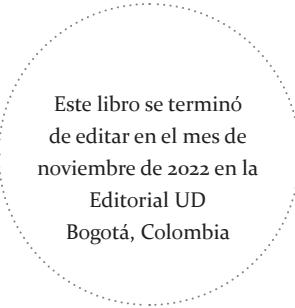
Doctora en Ciencias Técnicas. Magíster en Teleinformática. Docente investigadora titular de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y directora del grupo de investigación Gitem++ de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Miembro de la Asociación Iberoamericana de Telesalud y Telemedicina (AITT). Miembro fundador de la National Space Society Colombia (NSSC).

Diego Fernando Espinel Gómez

Estudiante de Maestría en Ciencias de la Información y las Comunicaciones. Ingeniero Electrónico de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Miembro activo de los grupos de investigación Gitem++ y GITUD de la misma institución. Participó como ponente en el 15th Annual Cubesat Developers Workshop, organizado por la California Polytechnic State University de Estados Unidos. Tiene intereses académicos en tecnología aeroespacial y tecnologías emergentes como Blockchain, informática forense y ciberseguridad.

Adrián Esteban Giraldo Benítez

Ingeniero Electrónico de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Participó como ponente en el 15th Annual Cubesat Developers Workshop, organizado por la California Polytechnic State University de Estados Unidos. En la industria se desempeñó como ingeniero de redes y servidores por tres años, después ingresó a la Facultad de Ingeniería del Politecnico di Milano para realizar sus estudios de maestría en Ingeniería de Telecomunicaciones.



Este libro se terminó
de editar en el mes de
noviembre de 2022 en la
Editorial UD
Bogotá, Colombia