

PROGRESOS ALCANZADOS EN EL PROYECTO UNIVERSITARIO COHETE SONDA ULA

Marcano Vicente, Benítez, Pedro, La Rosa Carlos, La Cruz Leonardo,
Parco María Alejandra, Ferreira Jhon, Andressen Rigoberto,
Serra Valls Alberto, Peñaloza Marcos, Rodríguez Lester
Cárdenas Julio Emerio, Minitti Vicente, Rojas Juan José

Resumen: La primera iniciativa científica en Venezuela, por parte de las universidades, para el desarrollo de cohetes sondas totalmente diseñados y construidos en Venezuela, proviene de la Universidad de Los Andes con el apoyo directo del Rectorado, como parte de las actividades que desarrolla la *Comisión Rectoral del Programa de Ciencias Espaciales y el Proyecto Centro de Investigaciones Atmosféricas y del Espacio (CIAE)*. A partir de enero de 2006, se conformó un equipo de investigadores multi- e interdisciplinario el cual ha venido trabajando en el desarrollo de un cohete propulsado por combustible sólido, con aplicaciones científicas y que ha sido bautizado con el nombre de cohete sonda-ULA. El objetivo del presente trabajo es describir los alcances y logros obtenidos durante el desarrollo del proyecto de cohetes-sondas de combustible sólido, y las implicaciones sociales y científico-técnicas que tiene para el país.

Palabras Clave: Cohete sonda/ Combustible sólido/ Tecnología aeroespacial

PROGRESS REACHED IN THE UNIVERSITARY PROJECT COHETE SONDA ULA

Abstract: The first scientific initiative from the Venezuelan universities to fully develop probe rockets comes from the Universidad de Los Andes by the support of the Chancellor's Commission Space Science Program. A team of multi- and interdisciplinary researchers was conformed in January 2006 in order to develop a solid propellant rocket having scientific applications and named Probe Rocket ULA. The objective of this paper is to describe the scopes and achievements obtained during the development of the project of the probe rockets of solid propellant and the social and scientific-technological implications that such project have for Venezuela.

Keywords: Probe Rocket/ Solid Propellant/ Aerospace Technology

I. INTRODUCCIÓN

1. Generalidades

En toda la América Latina, quizá ha sido Venezuela el país de mayor retraso en lo referente a la aplicación de programas tecnológicos en las ciencias atmosféricas y espaciales. Las primeras aplicaciones conocidas para cohetes de combustible

sólido en América Latina, se remontan a la década de los 50 y 60, con el desarrollo de cohetes sondas estratosféricos con propósitos estrictamente científicos, por parte de Brasil y Argentina, los cuales habrían impulsado el desarrollo de su moderna industria aeroespacial [1, 2].

El esfuerzo de estos países es loable, considerando la existencia desde 1982 del *Régimen de Control de Tecnología*

Manuscrito finalizado en Mérida, Venezuela, el 2009/09/28, recibido el 2009/12/02, en su forma final (aceptado) el 2009/10/0. El Prof. Vicente Marcano es Biólogo Aeroespacial El Neuroquímico Pedro Benítez, El PhD Carlos La Rosa, El Ing. Leonardo La Cruz, La Ing. María Alejandra Parco, El Ing. Jhon. Ferreira, El Climático Rigoberto Andressen, El PhD Alberto Serra Valls, desempeñan sus actividades en el Centro de Investigaciones Atmosféricas y del Espacio, en la Universidad de Los Andes, La Hechicera, Núcleo Universitario Pedro Rincón Gutiérrez, Edif. CIAE-TELMAG, Mérida 5101, Venezuela, Telf./fax 0274-2401424, marcvin@ula.ve; prbe@ula.ve; cjarosa@ula.ve; parcomaria@ula.ve; andressen@cantv.net, randss@ula.ve; albserra@cantv.net. El PhD Marcos Peñaloza es Profesor Investigador en el Departamento de Física, Facultad de Ciencias en la misma Universidad, Telf./fax 0274-2401318, mpenaloo@ula.ve. El In. Químico Lester Rodríguez es Profesor Investigador de la escuela de Ingeniería Química, Telf./fax 0274-2401424, lester@hotmail.com; El General de Brigada (Av) es Ingeniero de Sistemas Director de Investigaciones del Estado mayor Aviación Militar Bolivariana de Venezuela, La Carlota, Caracas, Telf. 0212-2358696. El Coronel (Av), es Director –Investigador. El Capitán (Av) Ingeniero Aeronáutico es el Jefe de Proyectos, ambos desempeñan sus actividades en el Centro de Investigación y Desarrollo Aeroespacial CIDAE, Base Aérea Mariscal Sucre, Tapatapa, Maracay, Telf. 0243-5531536. respectivamente.

de Misiles (RCTM), en el cual participan los países pertenecientes al Grupo de los Siete países más industrializados (Estados Unidos, Gran Bretaña, Francia, Alemania, Italia, Canadá, y Japón). El RCTM prohíbe la transferencia tecnológica para el desarrollo de vehículos espaciales con propósitos comerciales y cohetes sonda para experimentos científicos, incluyendo la exportación de instalaciones de producción, sistemas, partes, componentes y subsistemas para propulsores, materiales para estructuras, equipos de pruebas, instrumentos de vuelos, entre otros [1].

Muy a pesar de los problemas económicos de pobreza, inflación y deuda externa que han atravesado desde hace varias décadas países como Argentina, Brasil, Perú, México y Chile, ellos han sabido cosechar grandes logros en el campo de la cohetaría, que incluyen el diseño y el lanzamiento de cohetes y la puesta en órbita de satélites a partir del trabajo coordinado del Estado, la Aviación Militar y de las Universidades. Tal es el caso, por ejemplo, de los cohetes Centauro (alfa, beta y gamma), Orión, Canopus, Rigel, Castor, Cóndor I y II y satélites SAC argentinos; los cohetes SONDA I-IV y VLS y satélites SCD, SSR y SACI brasileños; los satélites FASat-alpha (1995) y FASat-Bravo (1998) chilenos; los satélites Morelos (1985), UNAM I (1995) y UNAM II (1996) mexicanos; el satélite CONIDASAT (2003) y del cohete sonda Paulet-1 (2006) peruanos. Este esfuerzo ha sido orientado principalmente para investigaciones concernientes a la observación de recursos naturales, quemas, inundaciones, desastres naturales, vigilancia fronteriza, aeropuertos clandestinos, prospección geológica, aerobiología, investigaciones de la ionosfera y de la capa de ozono, cambio climático, aerosoles atmosféricos, meteoritos y telecomunicaciones [1].

De modo parecido, en Colombia un grupo de entusiastas estudiantes y profesores universitarios ha formado la Asociación para Promover una Agencia Aeroespacial Colombiana. Los participantes, de la Universidad Nacional, Universidad Distrito Antonio Nariño y la Universidad de San Buenaventura, han construido y lanzado cohetes de combustible líquido estratosféricos, y desarrollan programas de estudio sobre física, química, biología y otras ciencias aplicadas a la investigación espacial. En la actualidad la Universidad Sergio Alborada posee un Programa de Ciencias Espaciales llamado Programa Espacial Universitario Colombia en Órbita, cuyo fin es desarrollar satélites de la serie pico- y cubosat. El primer lanzamiento fue establecido el 23 de marzo del presente año de la Misión Libertad (http://www.usergioarboleda.edu.co/proyecto_espacial/index.htm).

2. Progresos en el desarrollo de tecnologías aeroespaciales en Venezuela

Entre todos los espacios geográficos sobre los cuales le corresponden derechos a la República Bolivariana de Venezuela, según la Constitución Nacional (artículo 11), son

los Espacios Aéreos Continental, Insular y Marítimo y el Espacio Ultraterrestre Suprayacente los menos estudiados y desarrollados, a pesar de ser una obligación fundamental del Estado, cómo lo establece el artículo 127 de la Constitución, garantizar el desenvolvimiento de la población en un ambiente libre de contaminación, en donde particularmente el aire, el clima y la capa de ozono sean especialmente protegidos.

No podemos negar que nuestro país ha alcanzado grandes progresos durante las últimas décadas en los campos de las telecomunicaciones, sensores remotos, geofísica, astrobiología, astrofísica y astronomía. De igual manera, la República Bolivariana de Venezuela ha pasado a formar parte de tratados internacionales relativos a cambio climático (e.g. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, creada en el seno de la Cumbre sobre la Tierra, celebrada en Río de Janeiro en 1992). Sin embargo, no se ha reconocido la debida importancia que tiene la tecnología de los cohetes-sondas y los beneficios que esta puede generar para la población en el campo de las telecomunicaciones, prevención de desastres, control de incendios, deforestación y desarrollo urbano, monitoreo ambiental, salud y ciencias básicas.

Según el Informe de la Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos de las Naciones Unidas (A/55/20), de la cual Venezuela forma parte desde el año 2000, los beneficios derivados de la tecnología e investigación espacial, incluyendo el uso de cohetes-sondas, han dado lugar al desarrollo y mejora de múltiples productos y procesos en los últimos 10 años (A/55/20/173). En la esfera de la salud humana, la Comisión reconoció los nuevos métodos empleados para tratar enfermedades óseas, derivados de la ciencia de la microgravedad; el uso de trajes refrigerados, utilizados originalmente por los astronautas, para el tratamiento de la displasia ectodérmica hipohidrótica y otros desórdenes; aparatos de creación de imágenes por resonancia magnética, que se usan para detectar el cáncer y que son derivados de la tecnología empleada para mejorar imágenes con ayuda de computadoras; aparatos miniaturizados de asistencia ventricular para mejorar el bombeo del corazón, derivados de la tecnología utilizada en las bombas de combustible; y un mayor conocimiento de la cristalización de las proteínas relacionadas con la enfermedad de Chagas, merced a experimentos de microgravedad. La Comisión también reconoció los beneficios ambientales derivados de las nuevas tecnologías, incluso el desarrollo de un nuevo brazo robótico empleado en operaciones de limpieza nuclear y ambiental; el perfeccionamiento de un nuevo aparato robótico para despintar buques sin contaminar el medio ambiente; y las aplicaciones de la teleobservación en la exploración de los recursos naturales, agricultura, hidrología, supervisión de desastres, protección ambiental, vigilancia del agujero de la capa de ozono e investigaciones relativas al cambio climático. De igual modo, la Comisión reconoció las aplicaciones de las telecomunicaciones por satélite en la industria del

entretenimiento, información, transporte aéreo y marítimo, sistemas de navegación para automóviles y seguridad del tráfico aéreo. La Comisión reconoció las aplicaciones de la tecnología espacial en otros ámbitos, entre ellos una nueva cámara espectral que se utiliza en el proceso de deshielo de las alas de aeronaves, derivada de la tecnología de la visión espacial; un sistema basado en el radar que se monta en vehículos de rescate; y un nuevo termoplástico, que brinda protección contra la radiación ultravioleta, por ejemplo, a obras de arte y estatuas al aire libre.

Tanto la UNISPACE III celebrada en 1999 como la Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos de las Naciones Unidas (A/55/20/175), instaron a los países en desarrollo a emplear más sus posibilidades en el ámbito de las investigaciones básicas y aplicadas, a fin de promover la creación de capacidades para las aplicaciones de la tecnología espacial y aprovechar los beneficios derivados de dicha tecnología.

A partir de los compromisos adquiridos por la República Bolivariana de Venezuela durante la Asamblea General de la Comisión de las Naciones Unidas sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos (UNISPACE, 1999 y 2000), el Gobierno de la República Bolivariana de Venezuela decidió incorporar como materia de prioridad nacional una serie de políticas orientadas a promover la exploración, investigación y utilización del espacio ultraterrestre suprayacente para el progreso científico y tecnológico del país. Como parte de estas iniciativas, se promulgó durante el año 2004 el decreto con el cual se crea la Comisión Presidencial Venezolana para el Uso Pacífico del Espacio. Fue una de las principales metas de esta Comisión, determinar las condiciones necesarias para la creación de una Agencia Espacial Venezolana y su respectiva Agenda, a partir del análisis del recurso humano, proyectos, experiencias e instituciones nacionales relacionadas con la investigación espacial. Un logro importante de la Comisión Presidencial, es haber establecido por vez primera como política de Estado la necesidad de promover programas pedagógicos de formación en todos los niveles de la educación venezolana sobre esta materia e investigaciones y trabajos técnicos sobre el tema del uso pacífico del Espacio. De igual manera, esta Comisión culminó un Proyecto de Ley para el Uso Pacífico del Espacio Ultraterrestre Suprayacente, el cual incorpora posteriormente la creación de la Agencia Bolivariana de Asuntos Espaciales (ABAE), dependiente del Ministerio de Ciencia y Tecnología, a fin de desarrollar proyectos de investigación y de desarrollo tecnológico concernientes al sector espacial.

Entre 1999 y 2000, se estudió por parte del Gobierno Venezolano la Propuesta de Uso de Tecnología Aeroespacial para el Desarrollo de la Amazonía. La propuesta del satélite SAT-AMAZONAS fue elaborada y presentada por Investigadores de la Universidad de Los Andes en la X Asamblea General del Parlamento Amazónico celebrada en

junio del 2000 en Lima, Perú, la cual contó con la aprobación unánime por parte de los representantes y dignatarios de más de 10 países allí presentes. Posteriormente, en 2004 el Ejecutivo Nacional presentó la Propuesta Presidencial del Satélite Simón Bolívar, el cual ha sido puesto en órbita recientemente a partir de un convenio de transferencia tecnológica con la República Popular de China.

Otra acción importante de parte del Ejecutivo Nacional fue establecer la creación del Centro de Investigación y Desarrollo Aeroespacial de la Fuerza Aérea Venezolana (CIDAE-FAV), el cual tiene como principales objetivos desarrollar la tecnología necesaria para la fabricación y lanzamiento de cohetes y satélites con fines pacíficos. Su sede se encuentra en la Base Aérea Mariscal Sucre, Palo Negro, Estado Aragua. El CIDAE organizó en la isla del Burro, Lago de Valencia, el 3 de diciembre del 2004, el Primer Concurso Nacional de Cohetería.

Posteriormente, el 7 de Julio de 2005, en la ciudad de Valencia se celebró el I Congreso Nacional de Astrobiología y Ciencias Espaciales AB INITIO, en donde un grupo de científicos venezolanos de reconocido prestigio, pertenecientes a diversas instituciones de educación superior y centros de investigación, entre los cuales se encuentran algunos de los autores del presente artículo, acordaron crear la Fundación Sociedad Venezolana de Ciencias Espaciales (SVCE). El propósito de la SVCE, es apoyar todas las iniciativas de investigación en el área de las ciencias espaciales y atmosféricas en Venezuela

Durante el mes de febrero de 2006, se realizó en la ciudad de Mérida el Taller Aplicaciones de Tecnología Satelital, el cual fue impartido por oficiales de la Aviación Militar de Venezuela del CIDAE, donde se presentaron las características y aplicaciones del Satélite VeneSat-1 y los adelantos en el desarrollo de las investigaciones en el área aeroespacial del CIDAE. Es importante destacar que de este intercambio se elaboró una Carta de Intención entre varios grupos de Investigación de la Universidad de Los Andes y el CIDAE, en la cual se estableció el compromiso de parte del CIDAE de asistir y participar en las actividades de desarrollo, investigación y docencia proyectadas en la Universidad de Los Andes para el Centro de Investigaciones Atmosféricas y del Espacio (CIAE-ULA).

La primera iniciativa del sector científico-universitario de la República Bolivariana de Venezuela para el desarrollo de cohetes sondas totalmente diseñados y construidos en el país, proviene de la Universidad de Los Andes, con el apoyo directo del Rectorado. El Proyecto Cohete Sonda Serie ULA forma parte de las actividades que desarrolla la Comisión Rectoral del Programa de Ciencias Espaciales y el CIAE-ULA. A partir de enero de 2006, se conformó un equipo de investigadores multi- e interdisciplinario, el cual ha venido trabajando en el desarrollo de un cohete propulsado por combustible sólido con aplicaciones científicas y que ha sido bautizado con el nombre de cohete-ULA.

A fin de lograr el apoyo necesario para la realización de las pruebas de lanzamiento, se elaboró un acuerdo de cooperación con el CIDAE de la Aviación Militar Venezolana. Es importante destacar que, en vista a la experiencia y conocimientos logrados por parte del equipo de investigadores de la Universidad de Los Andes, el CIDAE solicitó asesoría e instrucción para la fabricación del cohete CIDAE-1, el cual fue lanzado el 26 de abril del 2007 en la Base Aérea “Capitán Manuel Ríos”, ubicada en proximidad a El Sombrero, Estado Guárico.

Cabe destacar, entre los principales logros de la Comisión Rectoral para el Programa de Ciencias Espaciales de la Universidad de Los Andes, el lanzamiento al espacio troposférico y estratosférico entre los años 2006 y 2009 de los Cohetes-Sonda ULA-1 y ULA-2, propulsados por combustible sólido y diseñados y construidos totalmente en la Universidad de Los Andes.

3. Objetivos del proyecto cohetes sondas serie ULA

El objetivo del Proyecto Cohete Sonda Serie ULA, constituye la construcción de cohetes-sondas de combustible sólido, a partir de diseños contextualizados a las necesidades sociales y a las fortalezas científico-técnicas del país, conforme a lo establecido en las leyes de la República Bolivariana de Venezuela, a fin de lograr su aplicación en el mejoramiento de la calidad de vida de los venezolanos y para la seguridad y defensa de la nación.

La aplicación de la tecnología endógena de cohete sondas, para atender aspectos fundamentales como son salud, calidad ambiental, telecomunicaciones, seguridad y defensa, constituye una iniciativa sin precedentes en la historia científica y tecnológica de nuestro país. Este hecho, representa un acto de independencia tecnológica soberana que nos sitúa en una posición competitiva ante el resto de los países de América Latina y del mundo. El dominio de la tecnología de los cohetes sondas, se enmarca en un contexto histórico en que la República Bolivariana se inicia en la carrera espacial con la colocación en órbita del satélite Simón Bolívar.

Uno de los mayores aportes de esta iniciativa constituye la utilización, por primera vez en nuestro país, de un recurso tecnológico para el estudio de parámetros físicos, químicos y biológicos de la atmósfera alta. Esta información era hasta ahora desconocida, debido a la falta de instrumentos especializados y los altos costos que conlleva la importación de los mismos, y a las restricciones existentes impuestas hacia Venezuela por el RCTM. De igual manera, el presente proyecto marca el inicio de la industrialización del conocimiento endógeno acerca de la fabricación de la más alta tecnología aeroespacial.

1.4. Aplicaciones de los cohetes sondas ULA

Las principales aplicaciones que presenta la tecnología de los cohetes-sondas ULA, se pueden ubicar en cuatro áreas principales, las cuales han sido definidas dentro del Plan Nacional de Ciencia y Tecnología 2005-2030, a saber: salud, telecomunicaciones, ambiente, seguridad y defensa.

Las aplicaciones, descritas en detalle, son las siguientes:

1. **Biometeorología:** Estudio de perfiles de gases, temperatura, humedad, radiación y presión para el conocimiento de las condiciones ambientales correspondientes al medio de propagación de microorganismos patógenos [3].
2. **Fotobiología atmosférica preventiva:** Estudio de las variaciones con la altura de la intensidad de la radiación UVB y UVA y de las concentraciones de ozono.
3. **Aerobiología epidemiológica:** Estudio de la composición, ciclos de reproducción, endemismo, rutas de propagación y patogenicidad de microorganismos atmosféricos, utilizando técnicas de ecología molecular microbianas [3,4].
4. **Medicina aeroespacial:** Estudio de los efectos de la hipergravedad sobre el sistema nervioso central utilizando el ratón como modelo animal, lo cual contribuye con el conocimiento de la fisiología del vuelo tripulado en aviones supersónicos (e. F-16, SUKHOI).
5. **Control biológico de cultivos y asentamientos ilegales:** Diseminación de bacterias y hongos en zonas de cultivos de marihuana, coca, amapola u otros con la finalidad de afectar el crecimiento y desarrollo de dichas plantas.
6. **Monitoreo de contaminación:** Muestreo y análisis de aerosoles troposféricos y del aire para prevenir problemas de contaminación que afecten la salud humana generados por la actividad industrial o agrícola, y en caso de conflicto que imponga el uso de sustancias tóxicas por grupos invasores que puedan afectar la salud de la población.
7. **Mejoramiento de las telecomunicaciones:** Obtención de perfiles periódicos de vapor de agua que facilite la precisa calibración de antenas de transmisión de radio, TV y telefonía móvil [5].
8. **Colocación en posiciones suborbitales y orbitales de nanosat:** Posicionamiento de picosatélites modulares de órbita baja y circular para observación de la Tierra, monitoreo ambiental, rastreo del espacio aéreo y ultraterrestre suprayacente con fines de seguridad y defensa.

Para las aplicaciones 1, 2, 3 y 7 se han desarrollado en nuestros laboratorios cargas útiles basadas en sensores electrónicos específicos, los cuales permiten registrar perfiles de temperatura del aire, presiones parciales de gases, radiación UVB y UVA y vapor de agua. En la actualidad, los Cohetes ULA-1 y ULA-2 poseen cargas útiles que los convierten en cohetes-sondas meteorológicos.

II. DESARROLLO

2. Métodos y materiales

2.1) Características técnicas de los cohetes ULA

2.1.1) Cohetes ULA-1:

Los cohetes ULA-1 presentan, como característica común, un fuselaje de 1,92 metros de largo y 10,5 cm de diámetro, construido en cloruro de polivinilo de alta densidad. La nariz es de tipo ojiva, elaborada en celulosa vegetal sólida y las alas tipo flecha-delta y cruciformes, construidas en aluminio e insertas en el fuselaje en su sección basal inferior. Se emplea por lo general, como combustible (oxidante), nitrato de potasio (Figura 1, Tabla 1). En vista a que los motores presentan empujes diversos basados en las diferencias de masa del combustible y el tamaño del motor, se seleccionan diferentes materiales para su construcción, tales como:

A) Motor 30 cm, aluminio sin costura con tratamiento térmico, espesor 6,5 mm.

B) Motor 45 cm acero al carbono AISI 1020 sin costura, espesor 3,5 mm.

El sistema de sujeción de la tapa de los motores está basado en pernos fundidos y soldadura de argón para garantizar su resistencia antes las altas presiones internas. Las toberas son mecanizadas en torno, elaboradas en acero AISI 1045 (Figura 2) y fijadas al motor con pasadores de alta resistencia grado 8.

El fuselaje presenta una sección interna la cual contiene la carga de instrumentos científicos que son eyectados junto a la nariz y recuperados mediante un sistema de paracaídas que integra el cohete sonda.

Los cohetes ULA-1 probados fueron:

A) Cohete ULA-1-A: Motor 30 cm, 750 gramos de combustible (KNO_3+Sa , 65/35). Velocidad subsónica.

B) Cohete ULA-1-B: Motor 45 cm, 1675 gramos de combustible (KNO_3+Sa , 65/35). Velocidad subsónica.

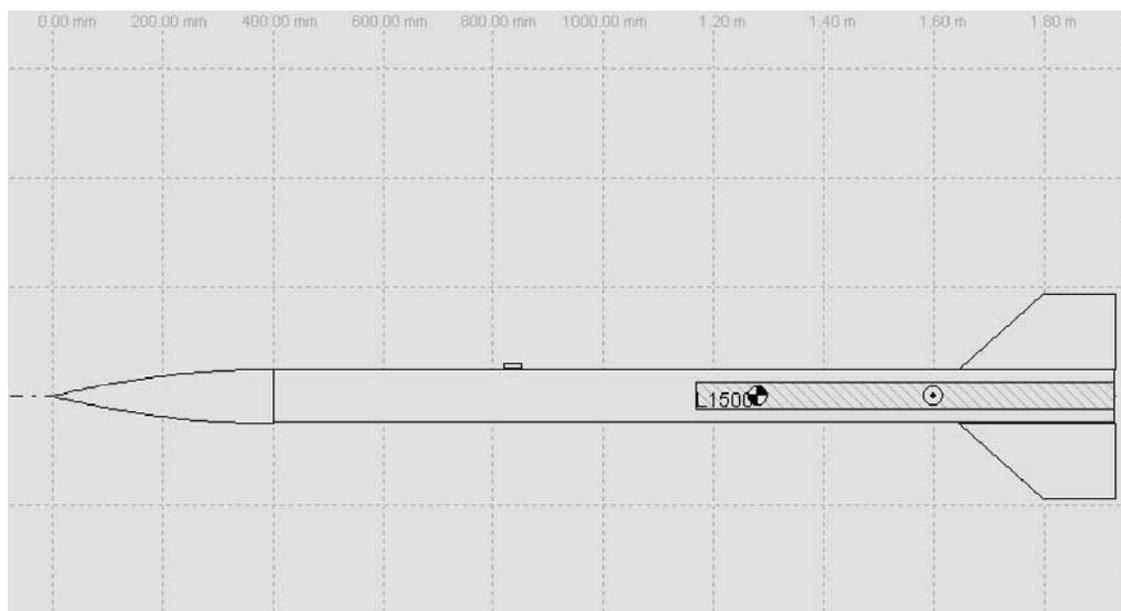


Figura 1. Perfil aerodinámico del Cohete sonda ULA 1 indicando la posición de los centros de gravedad (⊖) y de presión (⊕).

TABLA I. DATOS TÉCNICOS ESTRUCTURALES DE LOS COHETES SONDA UNIVERSITARIO MODELO ULA

CARACTERÍSTICAS	COHETE ULA-1	COHETE ULA-2
NARIZ:		
LONGITUD:	500 mm	700 mm
DIÁMETRO:	100,50 mm	81 mm
FORMA:	Ojiva	Ojiva
PESO:	2600 g	3500 g
MATERIAL:	Celulosa sólida con aislante térmico	Celulosa sólida con aislante térmico
CUERPO:		
LONGITUD:	1,53 m	1,20 m
DIÁMETRO:	100,50 mm	81 mm
PESO:	13155,02 g	14804,96 g
MATERIAL:	Cloruro de polivinilo	Aceero AISI 1020
ESPEJOR:	3 mm	2,5 mm
ALAS:		
FORMA:	Flecha-Delta	Flecha-Delta
DIMENSIONES:	14 cm alto, 28 cm largo	10 cm alto, 35 cm largo
PESO:	923,27 g	2400,93 g
NUMERO:	4	4
MATERIAL:	Aluminio	Aceero
ESPEJOR:	3 mm	3 mm
MOTOR:		
PESO:	3000 g	5800 g
PESO TAPA DEL MOTOR:	800 g	680 g
LONGITUD:	500 mm	900 mm
DIÁMETRO:	67,2 mm	81 mm
ESPEJOR:	3,2 mm	2,5 mm
EMPUJE PROMEDIO:	3049,05 N	> 5500 N
IMPULSO TOTAL:	11555,91 Ns	> 25500 Ns
MATERIAL:	Aceero AISI 1020	Aceero AISI 1020
FACTOR DE SEGURIDAD:	2,8	2,8
COMBUSTIBLE:		
COMPOSICION:	(KNO ₃ + SO) (65/35)	(KNO ₃ + SO) (65/35)
FORMA INTERNA DEL GRANO:	cilíndrica	cilíndrica
PESO DEL GRANO:	650-700 g	725-1100 g
DIÁMETRO EXTERNO DEL GRANO:	6,3 cm	6,15 cm
DIÁMETRO INTERNO DEL GRANO:	1,7 cm	2,2 cm
TOBERA:		
PESO:	1500 g	1800 g
MATERIAL:	Aceero AISI 1040	Aceero AISI 1040
LARGO:	172 mm	245 mm
DIÁMETRO EXTERNO CONVERGENCIA:	68mm	79,57 mm
DIÁMETRO EXTERNO DIVERGENCIA:	60,83 mm	70, 41 mm
DIÁMETRO GARGANTA:	16,71 mm	23,4 mm
GRADOS CONO DE DIVERGENCIA:	22°	18°
GRADOS CONO DE CONVERGENCIA:	58°	40°

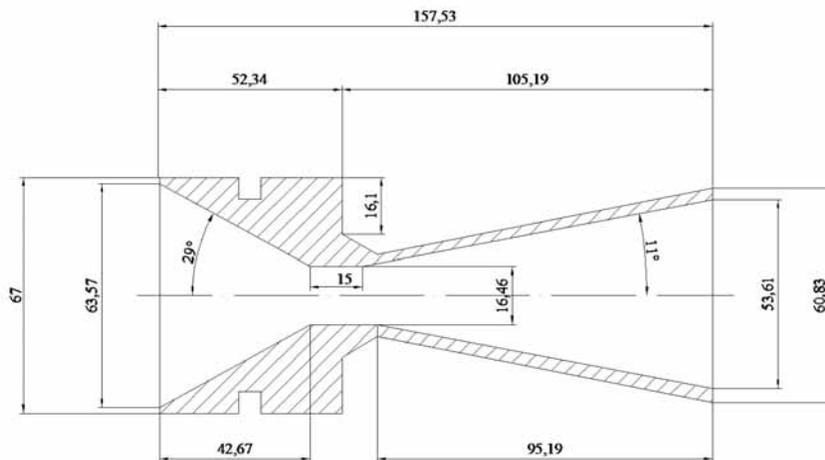


Figura 2. Plano de la tobera del cohete sonda ULA 1-B

TABLA II. DATOS TÉCNICOS DE RENDIMIENTO AERODINÁMICO DE LOS COHETES SONDA UNIVERSITARIO MODELO ULA

CARACTERÍSTICAS	COHETE ULA-1	COHETE ULA-2
PESO COHETE:	15755 g	18304 g
LONGITUD COHETE:	1,94 m	1,91 m
ACELERACION:	292,88 m/s ²	342,63 m/s ²
VELOCIDAD:	580,86 m/s	611,77 m/s
ALTURA:	5125,98 m	> 10,000 m
TIEMPO DE ASCENSO:	25,46 s	32,51 s
CENTRO DE GRAVEDAD:	1,19 m	1,20 m
CENTRO DE PRESIÓN:	1,60 m	1,52 m
COEFICIENTE DE ROZAMIENTO:	0,75	0,75
ESTABILIDAD DE VUELO CON COMBUSTIBLE:	4,08 calibres	4,02 calibres
ESTABILIDAD DE VUELO SIN COMBUSTIBLE:	5,85 calibres	5,75 calibres
TIEMPO DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE:	3,7 s	3,75 s
MASA PROPELENTE/ MASA TOTAL =	0,44	0,27
LARGO MOTOR/DIÁMETRO MOTOR =	14,8	11,1

2.1.2) Cohetes ULA-2:

Los cohetes ULA-2, presentan como característica un fuselaje de 1,70 metros de largo y 7,6 cm de diámetro en el caso del ULA-2-A, y 1,70 metros de largo y 8,0 cm de diámetro en el caso del ULA-2-B. En ambos cohetes el motor desempeña la función de fuselaje, el cual consiste de un tubo mecánico de acero al carbono (Figura 3). Las toberas son mecanizadas en torno y elaboradas en acero AISI 1045 (Figura 4). La nariz es

de tipo ojiva, elaborada en celulosa vegetal sólida y balanceada aerodinámicamente con un núcleo de plomo. Las alas son de tipo flecha-delta y cruciformes, construidas en acero y soldadas al fuselaje en su sección basal inferior. De igual manera, se emplea por lo general como combustible (oxidante) nitrato de potasio (Tabla I). El fuselaje presenta una sección interna la cual contiene la carga de instrumentos científicos que son eyectados junto a la nariz y recuperados mediante un sistema de paracaídas que integra el cohete sonda.

Los motores presentan distintos empujes basados en las diferencias de masa del combustible y tamaño del motor, tales como:

- C) Motor 115 cm, tubo mecánico de acero al carbono AISI 1020 sin costura, espesor mínimo 2,5 mm y máximo 5 mm.
- D) Motor 120 cm, tubo mecánico de acero al carbono AISI

1020 sin costura, espesor mínimo 2,5 mm y máximo 5 mm.

El sistema de sujeción, tanto de la tapa de los motores como de las toberas es diferente al del cohete sonda ULA1, consistiendo de un sistema de rosca gruesa más eficiente, lo cual nos garantiza su resistencia antes las altas presiones internas, generadas por la utilización de 4 a 5 kilos de combustible sólido.

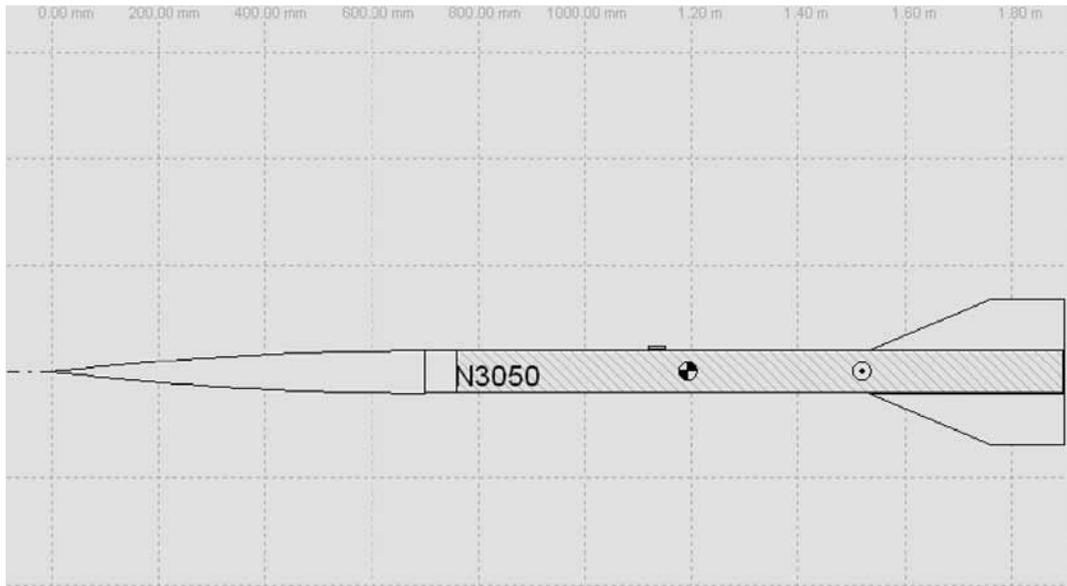


Figura 3. Perfil aerodinámico del Cohete sonda ULA 2 indicando la posición de los centros de gravedad (●) y de presión (⊙).

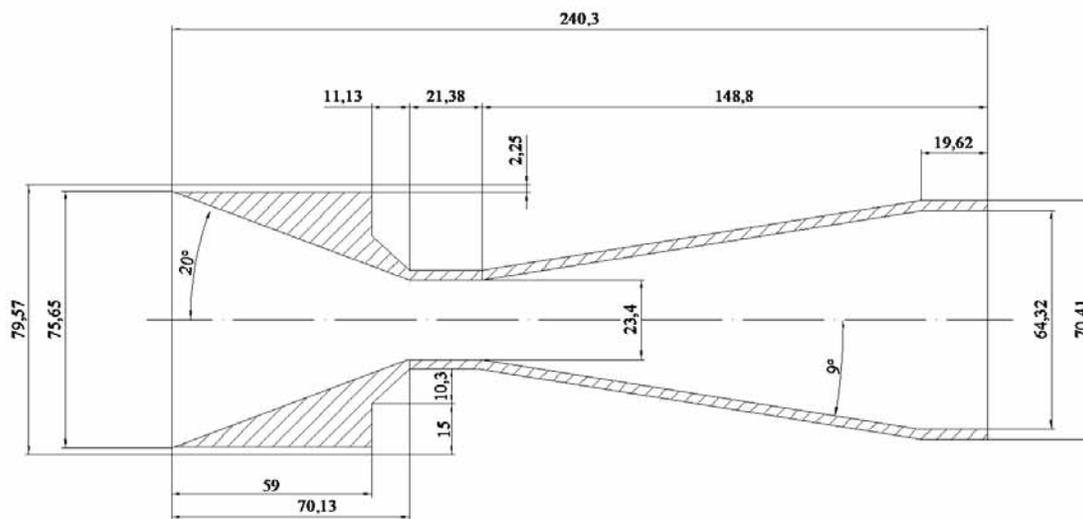


Figura 4. Plano de la tobera del cohete sonda ULA 2-A

Los cohetes ULA-2 probados fueron los siguientes:

- A) Cohete ULA-2-A: Motor 115 cm, 4075 gramos de combustible (KNO₃+Sa, 65/35). Velocidad supersónica.
- B) Cohete ULA-2-B: Motor 120 cm, 5050 gramos de combustible (KNO₃+Sa, 65/35). Velocidad supersónica.

2.2) Estimación del Factor de Seguridad del Tubo-Motor

Para la construcción del motor de los Cohetes serie ULA, se utilizó un tubo mecánico de acero AISI 1020, cuyo espesor de pared fue de 10 mm. Para determinar el espesor final del tubo-motor a fin de evitar fallas por esfuerzos debido al incremento de la presión interna, se realizó el siguiente procedimiento.

Según Shigley y Mische [6], las propiedades para el acero AISI 1020 son las siguientes:

$$\begin{aligned} \sigma_u &= 380 \text{MPa}, \\ \sigma_y &= 210 \text{Mpa}, \\ \text{Dureza}_{\text{Brinell}} &= 111. \end{aligned} \quad (1)$$

La presión interna de cámara escogida fue de 100 atmósferas (10,13 Mpa). En recipientes cilíndricos sujetos a presión, se presentan esfuerzos radiales y tangenciales cuyo valor depende del radio del elemento en consideración. Los recipientes cilíndricos, se clasifican según su relación radio interno-espesor de pared, en Cilindro de Pared Delgada (C.P.D.), y Cilindro de Pared Gruesa (C.P.G.). Según la mayoría de la bibliografía especializada, si esta relación es mayor a 10 se trata de un C.P.D. y si esta relación es menor o igual a 10 se trata de un C.P.G.

Partiendo de la hipótesis de que la deformación en dirección axial es constante, se obtuvieron las siguientes ecuaciones para los esfuerzos radial y tangencial en C.P.G:

$$\begin{aligned} \sigma_r &= \frac{P_i * r_i^2 - P_o * r_o^2 + r_i^2 * r_o^2 * \left[\frac{(P_o - P_i)}{r_i^2} \right]}{(r_o^2 - r_i^2)}, \\ \sigma_t &= \frac{P_i * r_i^2 - P_o * r_o^2 - r_i^2 * r_o^2 * \left[\frac{(P_o - P_i)}{r_i^2} \right]}{(r_o^2 - r_i^2)}, \end{aligned} \quad (2)$$

donde: Pi = Presión Interna Cilindro
Po = Presión Externa Cilindro
ri = Radio Interno Cilindro
ro = Radio Externo Cilindro

En nuestro caso, Po = 0, con lo cual las ecuaciones resultaron de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} \sigma_r &= \frac{r_i^2 * P_i}{(r_o^2 - r_i^2)} * \left(1 - \frac{r_o^2}{r_i^2} \right), \\ \sigma_t &= \frac{r_i^2 * P_i}{(r_o^2 - r_i^2)} * \left(1 + \frac{r_o^2}{r_i^2} \right). \end{aligned} \quad (3)$$

Con el objeto de colocar el esfuerzo tangencial en función del espesor se llevó a cabo el siguiente cambio:

$$r_o = r_i + t,$$

donde: t = Espesor de Pared del Cilindro

Para los C.P.D., el esfuerzo radial producido por la presión interna fue muy pequeño en comparación al esfuerzo tangencial. Realizando un corte del tubo, con un diagrama de cuerpo libre y llevando a cabo una sumatoria de fuerzas se obtuvo la siguiente ecuación para el esfuerzo tangencial o de costilla:

$$\sigma_t = \frac{P_i * r_i}{t}, \quad (4)$$

donde: Pi = Presión Interna del Cilindro
ri = Radio Interno del Cilindro
t = espesor de pared

Cabe destacar que la resistencia del acero se ve disminuida con el aumento de la temperatura; debido a los altos grados que alcanza la cámara de combustión este factor se debe tomar en cuenta. El quemado del combustible se llevó a cabo entre 3,5 y 4 segundos, el cual es un tiempo insuficiente para que la temperatura del cilindro se nivele con la temperatura de combustión. Con el fin de estimar la reducción de la resistencia del acero se asumió que el cilindro alcanzó los 300 ° C. Para esta temperatura el acero disminuye su resistencia en un 10% [6], con lo cual la resistencia empleada para el diseño fue de 189 Mpa. De tal manera, el factor de seguridad recomendado para el cohete ULA-1 es aquel que se encuentra por encima de 1,5. Por tanto se recomienda un espesor mínimo de 0,7 mm. El factor de seguridad recomendado para el cohete ULA-2 es aquel que se encuentra por encima de 1,5, por lo cual se recomienda un espesor mínimo de 1,4 mm.

3) Descripción de resultados preliminares

El 5 de diciembre de 2006 se realizó la PRIMERA PRUEBA DE RENDIMIENTO AERODINAMICO Y PROPULSION DE LOS COHETES SERIE ULA, en la Base Aérea

“Capitán Manuel Ríos”, ubicada en proximidad a El Sombrero, Estado Guárico. Durante su desempeño de vuelo, el cohete presentó una falla basada en la ruptura de los pernos de anclaje o sujeción de la tapa del motor, muy probablemente debido al esfuerzo ejercido por la alta presión interna como consecuencia del elevado empuje proporcionado por el uso de aluminio (6%) en la formulación del combustible. Los resultados y análisis de esta prueba, nos permitió reconocer fallas de diseño y trabajar sobre su corrección, los conocimientos obtenidos fueron aplicado en el diseño y construcción de los cohetes que se construyeron para la segunda prueba de rendimiento aerodinámico y propulsión.

El 26 de abril del 2007 se efectuó la SEGUNDA PRUEBA DE RENDIMIENTO AERODINÁMICO Y PROPULSIÓN DE LOS COHETES SERIE ULA, también en la Base Aérea “Capitán Manuel Ríos”, ubicada en proximidad a El Sombrero, Estado Guárico. Los cohetes ULA-1 probados fueron:

A) Cohete ULA-1-A: Motor 30 cm, 800 gramos de combustible (KNO_3+Sa , 65/35)

B) Cohete ULA-1-B: Motor 45 cm, 1600 gramos de combustible (KNO_3+Sa) + Al (90/10)

C) Cohete ULA-1-C: Motor 90 cm, 3800 gramos de combustible (KNO_3+Sa) + Al (90/10)

Los resultados obtenidos con los cohetes ULA-1 durante la SEGUNDA PRUEBA, mostraron un rendimiento de vuelo, empuje y una trayectoria balística de tipo parabólico, lo cual está en concordancia con las observaciones obtenidas en las pruebas de simulación en el laboratorio.

Posteriormente a esta prueba dinámica se realizaron, entre los meses de junio y octubre del 2007, varias pruebas en estática en el Laboratorio de Tecnología Aeroespacial del CIAE-ULA, a fin de evaluar y mejorar el rendimiento de propulsión de los cohetes diseñados para la TERCERA PRUEBA DE RENDIMIENTO AERODINÁMICO Y PROPULSIÓN DE LOS COHETES SERIE ULA, la cual se efectuó el 13 de febrero de 2008 en el Centro de Adiestramiento Militar “G/J José Laurencio Silva”, ubicado en proximidad a El Pao, estado Cojedes. Los resultados nos permitieron lograr definir un desempeño óptimo para los cohetes ULA-1 y ULA-2 (Figura 5).

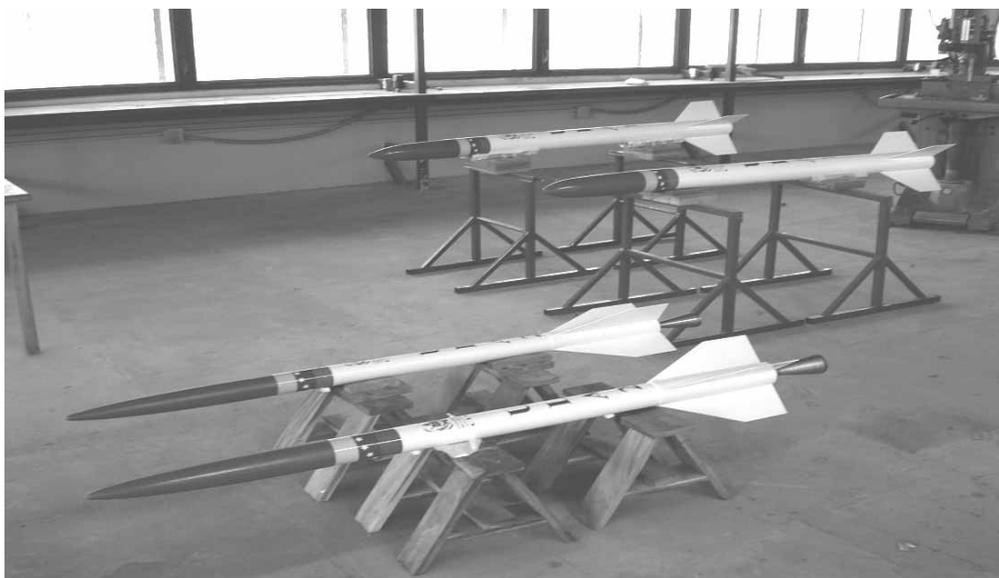


Figura 5. Cohetes sondas ULA 1 y 2 en fase de culminación, lanzados el 13 de febrero de 2008 en el Centro de Adiestramiento Militar “G/J José Laurencio Silva”, ubicado en proximidad a El Pao, estado Cojedes.

4. Discusión

4.1) Rendimiento aerodinámico de los cohetes ULA-1 y ULA-2:

Los resultados obtenidos con el ULA-1, mostraron un rendimiento de vuelo y una trayectoria balística de tipo parabólico [7], lo cual va en concordancia con las observaciones obtenidas en las pruebas en estática y de

simulación en el laboratorio. En relación al cohete ULA-2, se logró un ascenso uniforme, el cual fue compensado por la excelente disposición aerodinámica de las alas tipo flecha-delta [7] (Tablas 1 y 2).

Una observación que corrobora la eficiencia del rendimiento aerodinámico de los cohetes sondas durante el vuelo, es el alcance horizontal conseguido que se ajusta a las estimaciones obtenidas a partir de cálculos y simulaciones computacionales.

4.2) Propulsión y empuje de los cohetes ULA-1 y ULA-2

Los resultados obtenidos con el cohete ULA-1, están acorde a los resultados de las pruebas de estática realizadas en el laboratorio. Particularmente, el cohete ULA-1-B, mostró un desempeño óptimo que sobrepasó tres veces las estimaciones obtenidas tomando como referencia los programas de simulación, alcanzándose una altura superior a los 5000 metros en un tiempo de vuelo de 31 segundos (Tabla I, Figura 6). Estas pruebas han sido totalmente exitosas, ya que implicó resolver muchos problemas técnicos, que lanzamientos infructuosos pasados nos habían dejado como reto.

Los resultados del cohete ULA-2, muestran el inmenso poder de empuje que proporciona el uso del combustible seleccionado, otorgándole al tubo-motor una velocidad supersónica [8]. Considerando que el motor presentó un empuje mayor a 5800 Newton, hemos estimado una altura superior a los 10,000 metros en un tiempo de vuelo de 43 segundos (Tabla II).

Cabe destacar que el combustible sólido empleado asegura un mínimo impacto ambiental, debido a que entre los productos de la reacción no se emiten sustancias ácidas o nocivas para la salud y el entorno [9]. Tampoco se generan los malignos cloróxidos, compuestos demostrados de altísimo poder tóxico y destructor de la capa ozono [10].



Figura 6. Lanzamiento del cohete sonda ULA 1 desde el Centro de Adiestramiento Militar “José Laurencio Silva”, ubicado en el Pao, estado Cojedes.

III. CONCLUSIONES

1. Dado los resultados obtenidos con los cohetes serie ULA y a las elevadas alturas alcanzadas durante las últimas pruebas (lo cual constituye un hecho sin precedente en la historia científica de Venezuela), se puede aplicar esta tecnología en los sectores salud, ambiente, telecomunicaciones seguridad y defensa.
2. Se empleo para ello un sistema de recuperación y sensores electrónicos capaces de registrar parámetros de interés científicos que nos permitan contribuir con las necesidades sociales del país.
3. Los logros obtenidos en las ultimas pruebas, con los cohetes sonda ULA, han permitido programar una 4ta Prueba, basada en la utilización de un sistema de recuperación, accionado a través de un circuito computarizado, que facilita incorporar sensores para el registro de perfiles correspondientes a altura, vapor de

agua, temperatura, radiación y presiones parciales de gases y otros datos de interés que nos permitan reafirmar la elevada pertinencia de este proyecto estratégico para el país.

4. Esta *4ta Prueba de Rendimiento Aerodinámico y Propulsión* esta prevista a realizarse para el primer semestre del 2010, a fin de alcanzar la estratosfera media (~ 50 km de altura). Este propósito está a nuestro alcance, en vista a los logros obtenidos y la experiencia acumulada durante tres años de trabajo continuo.

IV. REFERENCIAS

- 1) Freeman, M., 2002; Iberoamérica en el Espacio, EIR Ciencia y Tecnología, Resumen Ejecutivo, 13-38
- 2) Docampo, C. 1993; Desarrollo de vectores espaciales y tecnología misilística en Argentina: el Cóndor II,

EURAL, Buenos Aires

- 3) Wainright, M., Wickramasinghe, N. C., Narlikar, J. V., Rajaratnam, P., 2002; Microorganisms cultured from stratospheric air samples obtained at 41 km. FEMS Microbiology Letters 10778, 1-5.
- 4) Narlikar, J. V., Wickramasinghe, N. C., Wainwright, M., Rajaratnam, P., 2003; Detection of microorganisms at high altitudes. Current Science 85, 23-29.
- 5) Ha, T. T., 1990; Digital Satellite Communications, McGraw-Hill Publishing Company, Singapore, P. 640.
- 6) Shigley, J. E., Mische, C. R., 1990; Diseño en Ingeniería Mecánica, McGraw-Hill, 5ta edición. P. 883.
- 7) Nielsen, J., 1970. Missile Aerodynamics, McGraw-Hill Publishing Company, P. 450.
- 8) Benítez, P. 2008; Informe Técnico sobre el Rendimiento de combustible sólido empleado en los motores de los cohetes ULA-1 y ULA-2 en la Tercera Prueba de Lanzamiento, Comisión Rectoral Programa de Ciencias Espaciales, Universidad de Los Andes, Mérida.
- 9) Weyland, H. H., Miller, R. R., 1990. Cleant propellant for large solid rocket Motors. Final Report prepared for the Astronautics Laboratory (AFSC), Report No. AL-TR-90-016.
- 10) La Rosa, C, 2007; Informes Técnicos: I y II. Impacto Ambiental de Combustible Sólido, Comisión Rectoral Programa de Ciencias Espaciales, Universidad de Los Andes, Mérida.

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro mayor reconocimiento a todo el personal administrativo, técnico y obrero del Rectorado de la Universidad de Los Andes por todo su apoyo en el desarrollo del presente proyecto. De igual manera, expresamos nuestro reconocimiento a todo el personal civil y militar del CIDAE de la Aviación Militar por su apoyo logístico durante las pruebas de lanzamiento.