

Caso Práctico

DNEPR: de Satán a lanzador de satélites DNEPR: from Satan to launcher of satellites

A. Calle, J-L. Casanova y J. Sanz
abel@latuv.uva.es

*Laboratorio de Teledetección de la Universidad de Valladolid.
Edificio I+D, Paseo de Belén s/n, 47011-Valadolid*

Recibido y aceptado el 11 de septiembre de 2009

RESUMEN

El pasado 29 de Julio de 2009, a las 22:46 GMT, fue lanzado con éxito el satélite Deimos-1 desde el cosmodromo ruso de Baikonur, situado en territorio de Kazajstan. Deimos-1 es el primer satélite español de observación de la tierra, gestionado para su operabilidad comercial a través de Deimos-Imaging, fabricado por SSTL (Surrey Satellite Technologies Limited) bajo la supervisión y asesoramiento de la empresa española Deimos-Imaging y el Laboratorio de Teledetección de la Universidad de Valladolid. El satélite fue inyectado en órbita de forma precisa, junto con otros cinco satélites más, mediante el lanzador Dnepr, cuyo programa de funcionamiento corre a cargo de la empresa rusa Kosmotras. Dnepr es un lanzador cuya tecnología es heredada del ICBM (Inter Continental Ballistic Missile) SS-18, reconvertido en lanzador de satélites en órbitas de baja altura (LEO); su alta fiabilidad, superior al 97%, hace de este lanzador uno de los más adecuados para la puesta en órbita de satélites pequeños, por su bajo coste, precisión y probabilidad de éxito.

PALABRAS CLAVE: Dnepr, Lanzamiento de satélites, Deimos-1

ABSTRACT

Last July, 29, 2009, at 22:46 GMT, the satellite Deimos-1 was successfully launched from Russian Baikonur's cosmodrome, located in the Republic of Kazajstan. Deimos-1 is the first Spanish remote sensing satellite, managed by Spanish commercial company Deimos-Imaging, manufactured by SSTL (Surrey Satellite Technologies Ltd.) under advisory of Deimos-Imaging and the Remote Sensing Laboratory of the University of Valladolid. This satellite was injected in a precise orbit, and other 5 satellites more, by means of Dnepr launcher, which working programme is managed by Russian Company Kosmotras. Dnepr is a launcher using the heritage technology by ICBM (Inter Continental Ballistic Missile) SS-18, converted in a satellite launcher in LEO orbits. Dnepr has an efficiency up of 97% and it's a available launcher for small satellites due to low cost and high probability of success.

KEYWORDS: Dnepr, Satellite launchers, Deimos-1

INTRODUCCIÓN

La puesta en órbita de un satélite es una operación de gran complejidad por asumir los riesgos técnicos inherentes a un posible fallo de lanzamiento y por el elevado coste económico que conlleva, acercándose a un tercio del coste total de la misión. Por esta

razón existe un mercado internacional de lanzadores muy adaptado a las necesidades, tendente a reducir costes en la medida de lo posible. Así, la ejecución de lanzamientos múltiples, por una parte, y el uso de lanzadores optimizados para pequeños satélites, en algunos casos usando misiles reconvertidos, por otra, han hecho posible que los lanza-

mientos no sean exclusivos de las grandes empresas de telecomunicaciones permitiendo la puesta de órbita de micro y minisatélites en algunos casos experimentales y desarrollados no sólo por grandes compañías sino también por universidades. Esta actividad creciente ha sido, por otra parte, cuestionada desde diferentes sectores como demasiado permisiva por el incremento de basura espacial.

En USA, los lanzadores Delta-II han puesto en órbita la mayoría de los satélites medios de observación de la tierra, además de la constelación GPS (Global Positioning System), con capacidad para colocar satélites en órbita GTO y LEO; la familia de lanzadores Delta-IV capaces de colocar hasta 13 toneladas en GTO son la solución para grandes satélites de comunicaciones cuyas compañías optan por el mercado americano. La India ha incrementado enormemente su actividad en los últimos años fusionando eficiencia y reducción de costes, gracias a las dos familias de lanzadores para órbitas LEO, el lanzador PSLV (Polar Satellite Launch Vehicle) y para órbitas geoestacionarias, con el lanzador GSLV (Geosynchronous Satellite Launch Vehicle). La ESA ha estado desarrollando el programa Ariane cumpliendo con lanzamientos de satélites de telecomunicaciones y algún satélite de observación de la tierra excepcional por sus dimensiones, como Envisat, además de cumplir con objetivos de aprovisionamiento de la ISS (International Space Station) como es el caso del programa ATV (Automatic Transfer Vehicle). Rusia sigue manteniendo activo y en buena forma el lanzador más seguro y antiguo, el Soyuz, en diferentes versiones, tanto para lanzamientos de satélites como misiones tripuladas a la ISS. Sin embargo la aparición en el mercado de pequeños satélites de observación de la tierra y la búsqueda de soluciones económicas, han provocado importantes cambios de estrategia en las grandes agencias; citaremos dos ejemplos: La ESA continúa con los test de desarrollo de su nuevo lanzador de pequeños satélites, el lanzador VEGA, cohete de 3 etapas, para lanzamientos dedicados o múltiples, que será operado desde la base de Kourou (en la Guayana Francesa) y estará capacitado para colocar una carga de pago de 1500 kg en órbita polar heliosíncrona. Se espera que su primer lanzamiento se produzca a finales de 2009. El segundo ejemplo, de reducción de costes es el traslado de la plataforma de lanzamiento Soyuz a la base europea de Kourou, un ejemplo de cooperación sin precedentes entre Europa y Rusia; ello facilitará a Soyuz alcanzar órbitas ecuatoriales y con menor coste por la magnífica lo-

calización geográfica de la base de Kourou tan cercana al Ecuador terrestre.

Centrándonos en el panorama que ofrece Rusia, por la temática del presente artículo, históricamente la actividad espacial ha estado vinculada al cosmódromo de Baikonur (lanzamiento del primer satélite artificial en 1957, lanzamiento del primer astronauta en 1961, etc) aunque otras bases de lanzamiento se encuentran operativas, como la base de Dombrovskiy, cerca de Yasny, desde donde también se efectúan lanzamientos Dnepr. Plesetsk desde donde opera Eurokot y Svodovny, en el extremo oriental del país configuran el mapa ruso de las principales opciones de lanzamiento. Las ventajas que ofrece el mercado ruso de lanzadores residen en la diversificada actividad espacial que mantiene Rusia y Ucrania desde tiempos históricos, con precios muy favorables y compañías competitivas debido, en gran parte, a la utilización de misiles intercontinentales reconvertidos. Podríamos clasificar todos los lanzadores rusos en 6 categorías diferentes: 1) el sistema Energia/Buran, que aunque hoy se encuentra bloqueado por razones financieras y de coordinación con el transbordador Shuttle americano, puede reactivarse si la demanda lo requiere. 2) el Proton/Proton-M, usado actualmente como lanzador de grandes satélites. 3) la familia Soyuz en sus diferentes versiones tanto para lanzamiento de satélites como aprovisionamiento de la ISS. 4) la familia Zenit . 5) pequeños lanzadores, principalmente Cosmos-3M, Tsyklon y Angara y 6) Misiles reconvertidos, siendo los principales Dnepr y Rockot.

Dentro del grupo de los denominados pequeños lanzadores, destaca el Cosmos-3M, que ha sido el lanzador más demandado en Rusia y la antigua URSS. Aunque hoy se considera antiguo y con problemas de aprovisionamiento de repuestos dado que algunos de sus componentes originales han desaparecido y son sustituidos por otros manufacturados, fue considerado como "el mejor pequeño lanzador del mundo" por su fiabilidad y bajo coste. Su continuidad en el mercado está condicionada por planes de restauración. Por otra parte, el Angara es un pequeño lanzador de nuevo diseño, con una carga de pago máxima entre 2 y 3.7 toneladas; actualmente se encuentra en fase de test pero se espera que desarrolle su actividad desde la base de Plesetsk.

Los lanzadores que provienen de misiles convertidos, provienen de 5 familias diferentes, los misiles SS-18, SS-19, SS-24, SS-25 y misiles navales. A continuación se ofrece una breve descripción de los más reseñables:

- Shtil/Volna: derivados de los misiles navales; son utilizados para lanzamiento de microsatélites (entre algunas decenas de kg –Volna- y un máximo de 160 kg para el Shtil con fuerte restricción del volumen de la carga útil) y con muy estrecho rango de inclinaciones orbitales.
- Start: derivado de los misiles SS-25; aumenta su rango de inclinaciones orbitales y puede ser lanzado desde países extranjeros. Su capacidad de carga máxima se encuentra entre los 600 y 900 kg.
- Strela: derivados de los misiles SS-19; tiene un estrecho rango de altitudes orbitales con capacidad máxima de entre 1.4 y 1.5 toneladas de carga útil.
- Rockot: derivado de los misiles SS-19 y SS-24. Actualmente Rockot está operado por la compañía Eurokot y realiza sus lanzamientos desde la base de Plesetsk. Tiene una capacidad máxima de 1.9 toneladas.
- Dnepr: derivado de los misiles SS-18 (RS-20); capacitado para lanzamientos de hasta 4 toneladas, comparable al lanzador Cosmos y muy valorado por su fiabilidad en lanzamiento de clusters de satélites y su bajo coste.

La figura 1 presenta un esquema comparativo de los principales lanzadores rusos mencionados en esta introducción.

De los lanzadores mencionados, los que resultan en la actualidad más competitivos para pequeños satélites de observación de la tierra son el Rockot y

Dnepr; Rockot deriva del misil SS-19 (RS-19), su producción se paró en 1986 y su futuro está emparejado con el futuro de Dnepr dado que ambos están restringidos a las unidades que existen en stock. A Rockot se le ha incluido en la última etapa una modificación para la inserción de satélites que se denomina Breeze y su mayor interés para la ESA es que tiene contratados varios lanzamientos de los satélites exploradores del programa “Living Planet”. El primero de los satélites exploradores fue lanzado en octubre de 2005 en lo que resultó un lanzamiento fallido y la pérdida del satélite. La serie de actividades fue retomada en Marzo de 2009 con el lanzamiento del segundo explorador, el satélite GOCE (Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer), en un lanzamiento satisfactorio. Para el próximo mes de noviembre de 2009 está previsto el lanzamiento conjunto de la misión SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity) y Proba-2 desde Plesetsk y para finales de 2009 el lanzamiento del CryoSat-2, explorador que sustituye al Cryosat perdido en el lanzamiento de 2005.

Una vez presentado el panorama global de lanzadores rusos y más concretamente los derivados de misiles ICBM, en este artículo nos centraremos en el programa Dnepr, por el interés que ha tenido este lanzador para nuestro país. El pasado 29 de Julio de 2009, a las 22:46 GMT, fue lanzado con éxito el satélite Deimos-1, primer satélite español de observación de la tierra, compartiendo el lanzamiento con, entre otros el satélite de comunicaciones Nanosat-1B, propiedad del INTA español. El lanzamiento ha sido el más reciente del Dnepr.

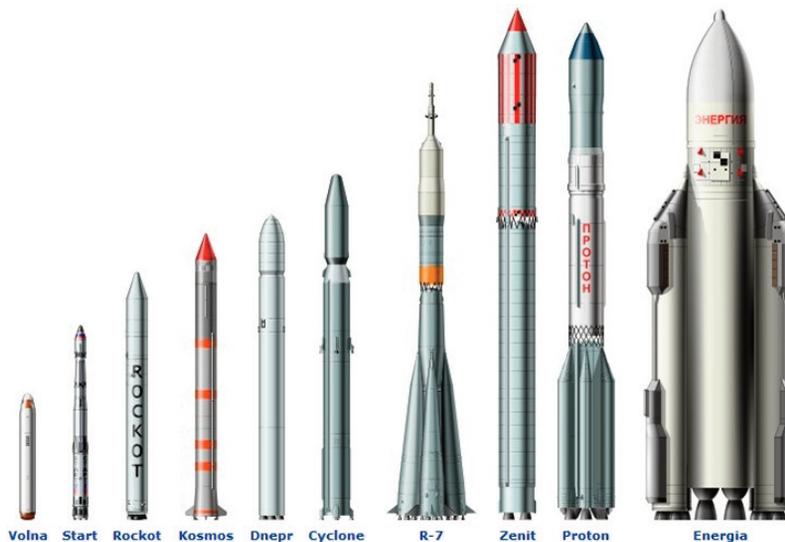


Figura 1. Principales familias de lanzadores rusos (Fuente: Roscosmos)

EL PROGRAMA DNEPR

El corazón del lanzador Dnepr es el ICBM (Inter Continental Ballistic Missile) SS-18 el arma más poderoso del arsenal de la antigua Unión Soviética, lo que le valió el apodo de “Satán”. Con el final de la guerra fría, en la década de los años 80, se estableció el tratado de reducción y eliminación de armas ofensivas estratégicas (conocido como tratados START) y el misil intercontinental SS-18 fue reconvertido en lanzador de satélites bajo el programa Dnepr, gestionado por la empresa ISC Kosmotras (International Space Company Kosmotras). Como lanzador espacial, el misil SS-18 podría liberar una carga útil de 4 toneladas en una órbita polar de 200 km de altura, aunque, antes de lanzador de satélites se plantearon diferentes ideas para su reconversión, siendo una de las más probables la de ser utilizado como cohete de emergencia en áreas afectadas por desastres, de forma que podría transportar una carga de salvamento de entre 2.5 y 3 toneladas en áreas alejadas entre 16000 y 20000 km, con una precisión de entre 1 y 2 km. Esta idea fue abandonada por la complejidad que conllevaría dotar al misil de sistemas de flotación en áreas marítimas, las más frecuentes en la demanda de ayuda de emergencia.

En 1997 fue creada la empresa ISC Kosmotras a través de la participación conjunta de equipos de Rusia y Ucrania. ISC Kosmotras ha gestionado, desde entonces, el programa Dnepr para la puesta en órbita de satélites de baja altura y órbita polar circular, de forma que han sido ejecutados 13 lanzamientos en esta etapa de uso pacífico, con satélites de comunicaciones, de observación de la tierra, satélites experimentales e incluso, prototipos de estaciones espaciales.

Tras el segundo lanzamiento del Dnepr con éxito, en septiembre de 2000, ISC Kosmotras estudió la posibilidad de utilizar el lanzador Dnepr para satélites en órbita geoestacionaria, lo que supondría una expansión de sus beneficios. Sin embargo la capacidad de carga para alcanzar la órbita de transferencia geoestacionaria estaría limitada a una masa de 500 kg, carga muy por debajo de la mayoría de los satélites de comunicaciones que demandan lanzamientos. Estas consideraciones establecieron el lanzador Dnepr, de forma definitiva, para ser utilizado en órbitas polares circulares de baja altura.

Por lo que se refiere a las bases de lanzamiento, el programa Dnepr utiliza dos bases gestionadas por Rusia, aunque no se encuentren específicamente en su territorio: Baikonur (Kazajstan) y Dombrov-

kiy (Yasny, Rusia). El cosmódromo de Baikonur es el más importante del mundo desde el punto de vista histórico y por el tipo de lanzadores que usan sus instalaciones. Se encuentra localizado en la República de Kazajstan, a más de 2100 km desde al sureste de Moscú, muy cerca del mar de Aral. Fue denominado Baikonur, en su creación en 1955, con el nombre de una ciudad minera que se encuentra a unos 350 km, con la finalidad de dificultar su localización en la guerra fría. La ciudad que fue formándose se llamó, posteriormente, Leninsk y, finalmente, se quedó con la denominación oficial de Baikonur. Desde allí fue lanzado el primer satélite artificial en 1957, el Sputnik, en un tenso duelo con USA en medio de la guerra fría y el deseo del dominio del espacio por ambas potencias; también tuvo lugar el lanzamiento el primer astronauta de la historia, Yuri Gagarin en 1961.

El cosmódromo de Baikonur tiene una extensión de 6700 km² en territorio prácticamente desértico, lo que facilita los lanzamientos por tratarse de grandes extensiones sin población; la otra gran ventaja del cosmódromo es la práctica inexistencia de precipitaciones, lo que asegura las buenas condiciones meteorológicas. En la actualidad alberga las plataformas de lanzamientos de cohetes Proton, los más potentes de Rusia para poner en servicio satélites geoestacionarios, así como los lanzadores Soyuz que dan servicio a las misiones de aprovisionamiento de la Estación Espacial Internacional (ISS), entre los más importantes. El primer lanzamiento del programa Dnepr desde Baikonur tuvo lugar en Abril de 1999. El segundo cosmódromo usado por el programa Dnepr es Dombrovskiy, cerca de Yasny. Se trataba en origen de una base militar de lanzamiento de misiles balísticos intercontinentales (ICBM) y en la actualidad usado por ISC Kosmotras para lanzamientos comerciales en el marco del programa Dnepr. El primer lanzamiento Dnepr realizado desde Yasny tuvo lugar el 12 de Julio de 2006.

La tabla 1 muestra todos los lanzamientos realizados bajo el programa Dnepr. Hasta la fecha han sido realizados 13 lanzamientos, de los cuales el séptimo, el segundo realizado durante el año 2006, resultó fallido, presumiblemente debido al malfuncionamiento de uno de los motores de la primera etapa; todos los fragmentos del lanzador impactaron en lugares del territorio de Kazajstan. Todos los demás lanzamientos fueron realizados con éxito.

Aunque en la mayoría de los casos Dnepr ha puesto en órbita mini, micro y nanosatélites, destacan algunos lanzamientos por su importancia. El lanza-

miento dedicado de la misión TerraSar-X, en Junio de 2007, satélite de observación de la tierra de 1346 kg, dotado de un radar de apertura sintética (SAR) en banda X, capaz de resolver imágenes de 1 metro de resolución espacial, desarrollado entre la agencia espacial alemana DLR y EADS Astrium. Otro lanzamiento importante lo constituye la puesta en órbita de la constelación completa de satélites RapidEye, en Agosto de 2008, compuesta de 5 satélites de observación de la tierra de 150 kg cada uno, dotados de cámara multispectral de 5 banda ópticas, con una resolución espacial de 6.5 metros. Dentro de los lanzamientos dedicados, también destaca la puesta en órbita del satélite THEOS, en Octubre de 2008, lanzamiento realizado en este caso desde la base de Yasny, un satélite de observación de la tierra de 720 kg, construido por EADS Astrium para el Ministerio de Ciencia y Tecnología Thailandés, con una resolución espacial en torno a 2 metros y en una órbita polar heliosíncrona de 820 km.

Otros dos lanzamientos reseñables por su peculiaridad, fueron la puesta en órbita de Genesis-1 en Julio de 2006, con la que Kosmotras inauguró los lanzamientos desde Yasny y Genesis-2 en Junio de 2007. En ambos casos se trató de prototipos de futuras estaciones espaciales privadas, gestionadas por la compañía privada americana Bigelow Aerospace

De especial importancia para España es el más reciente lanzamiento realizado por Dnepr en Julio de 2009 donde se pusieron en órbita 6 satélites, dos de los cuales eran españoles. El Deimos-1, primer satélite de observación de la tierra español, fabricado por SSTL (Surrey Satellite Technologies Ltd.) bajo la supervisión de la empresa española Deimos-Imaging, satélite de 90 kg con tres bandas espectrales de 22 m de resolución espacial y un ancho de barrido de 640 km; este satélite forma parte ya de la constelación DMC (Disaster Monitoring Constellation). Precisamente en este mismo lanzamiento se puso en órbita el UK-DMC-2, también perteneciente a la constelación DMC y perteneciente a SSTL. El otro satélite español, fabricado por el INTA (Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial) es el Nanosat-1B, de 22 kg, satélite de telecomunicaciones para enlace entre las bases científicas del INTA dispersas por el mundo y el centro de comunicaciones en Madrid, además de servir de experimentación científica en el dominio de la nanotecnología. El mayor satélite de este lanzamiento fue el DubaiSat-1 (carga principal de la misión), satélite de observación de la tierra de los Emiratos Árabes Unidos, de 190 kg. Otros dos satélites de comunicaciones de 12 kg cada uno, AprizeSat-3 y AprizeSat-4 de la compañía SpaceQuest (USA) completaban la carga útil de este lanza-

Fecha/Cosmódromo/Resultado	Satélites
1999 Abril 21 / Baikonur / Éxito	UoSAT-12
2000 Sept. 26 / Baikonur / Éxito	MegSat-1, UniSat, SaudiSat-1A, SaudiSat-1B, TiungSat-1
2002 Diciembre 20 / Baikonur / Éxito	UniSat-2, SaudiSat-1C, LatinSat-A and B, Rubin-2, Trailblazer mockup
2004 Junio 29 / Baikonur / Éxito	Demeter, SaudiComsat-1, SaudiComsat-2, SaudiSat-2, LatinSat-C, LatinSat-D, AMSat-Echo, UniSat-3
2005 Agosto 24 / Baikonur / Éxito	OICETS (Kirari), INDEX (Reimei)
2006 Julio 12 / Yasny / Éxito	Genesis-1
2006 Julio 26 / Baikonur / Fallido	BelKA, UniSat-4, Baumanets, PiCPoT, ION, SACRED, ICE Cube 1, KuteSat, RINCON, HAUSAT-1, nCUBE-1, SEEDS, AeroCube-1, CP-2, MEROPE, ICE Cube 2, CP-1, Voyager
2007 Abril 17 / Baikonur / Éxito	EgyptSat-1, Saudisat-3, Saudicomsat-3, Saudicomsat-4, Saudicomsat-5, Saudicomsat-6, Saudicomsat-7, CP-4, AeroCube 2, CSTB1, MAST, CP-3, CAPE1, Libertad-1
2007 Junio 15/ Baikonur / Éxito	TerraSar-X
2007 Junio 28 / Yasny / Éxito	Genesis-2
2008 Agosto 29/ Baikonur / Éxito	RapidEye 1, RapidEye 2, RapidEye 3, RapidEye 4, RapidEye 5
2008 Octubre 1 / Yasny / Éxito	THEOS
2009 Julio 29/ Baikonur / Éxito	DubaiSat-1, Deimos 1, UK-DMC 2, Nanosat 1B, AprizeSat 3, AprizeSat 4

Tabla 1. Lanzamientos del Programa Dnepr, indicando la fecha, el cosmódromo utilizado y los satélites puestos en órbita en la misión; también se indica el resultado de la misión, donde sólo uno de ellos resultó fallido. (Fuente: RussianSpace-Web)

miento. La noticia oficial ofrecida por Roscosmos en su página web es la siguiente, anunciando el resultado de la más reciente misión Dnepr:

29-07-2009 RS-20 Successfully Lifts Off from Baikonur:

Conversional intercontinental ballistic missile RS-20 successfully lifted off from Baikonur's pad 109 (experimental underground launch pad) today, on July 29, at 22:46. RS-20 orbited 6 spacecraft for foreign customers: -remote sensing DubaiSat-1 (UAE)- 190kg, -high-resolution imaging Deimos 1 (UK and Spain)-90kg, -emergency monitoring UK-DMC 2 (UK)-96.5kg, -telecommunication Nanosat 1B (Spain)- 22kg, -low-orbit communication AprizeSat 3, AprizeSat 4 (USA)- 12kg each. Russian companies involved in the prelaunch and launch operations: International Space Company Cosmotras- established in 1997; deals with development and commercial launch complex of the RS-20 conversional rocket; Russian and Ukrainian companies are united under Cosmotras. Cosmotras has stable position in the launch service market. 11 launches has been made, 45 spacecraft orbited.

Finalmente, cabe destacar que anteriormente al programa Dnepr, han sido realizados cerca de 160 lanzamientos del SS-18, habiendo encontrado problemas de malfuncionamiento en 4 de ellos, lo que da idea de la eficiencia de este lanzador.

Por lo que respecta a futuros lanzamientos Dnepr, el próximo será realizado en Diciembre de 2009 para poner en órbita el satélite CryoSat-2, perteneciente a la serie de exploradores del programa "Living Planet" de la ESA. Cryosat-2, cuyo objetivo es determinar la cobertura y el espesor de las placas del hielo polar, será puesto en órbita desde Baikonur; este sa-

télite fue el reemplazo de la fracasada misión de lanzamiento del cohete Rockot en octubre de 2005.

DESCRIPCIÓN DEL LANZADOR DNEPR

El lanzador Dnepr es un cohete de tres etapas, las dos primeras corresponden, sin ninguna modificación, a las del ICBM SS-18 y la tercera, que incluye la unidad SHM (Space Head Module) conteniendo la carga útil, es un componente modificado y adaptado para la inserción orbital de múltiples satélites en órbita de baja altura. Con esta configuración, el Dnepr LV (Dnepr Launch Vehicle) puede inyectar en órbita de 300 km una carga útil en torno a casi 4 toneladas. La figura 2 muestra las curvas de la carga útil, en kg, en función de la altura orbital, y en función de la inclinación, accesibles por el lanzador Dnepr. Para el caso de órbitas polares heliosíncronas más frecuentes en el dominio de la observación de la tierra, de inclinación 98° y alturas comprendidas entre los 600 y 700 km, Dnepr puede inyectar una masa en torno a una tonelada, ya sea en lanzamientos dedicados o múltiples. Para órbitas de menor inclinación, las cargas pueden ser superiores, por las condiciones favorables que presenta la fuerza centrífuga debida a la rotación terrestre.

Como indica la figura 2, el Dnepr está operativo para 4 valores de inclinación orbital: 50.5° , 64.5° , 87.3° y 98.0° . De ellas, las inclinaciones de 87.3° y 98° se realizan mediante lanzamiento en dirección suroeste de órbita retrógrada, mientras que las 50.5° y 64.5° se realizan en dirección noreste de órbita directa.

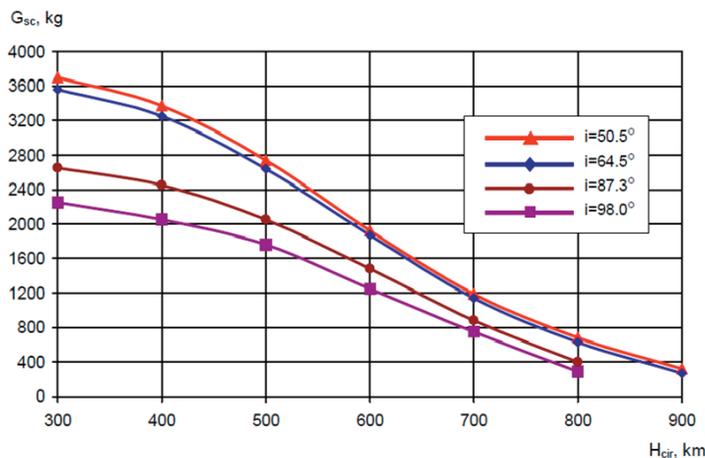


Figura 2. Curvas Carga útil vs. Altura orbital para diferentes inclinaciones, accesibles para el lanzador Dnepr. (Fuente: ISC Kosmotras)

La primera etapa del Dnepr es una unidad de propulsión, compuesta de 4 motores, cuyo peso total en el lanzamiento supera ligeramente las 200 toneladas dependiendo de la carga de pago involucrada en el lanzamiento, mientras que la segunda etapa es una unidad de propulsión de un único motor, cuya masa total es cercana a las 50 toneladas. Ambas utilizan propelente líquido con dos componentes: oxidante (Amyl) y combustible (Heptyl) y las dos etapas están condicionadas por el sistema de seguridad en casos de emergencia de aborto de vuelo si se produjera la pérdida de la estabilidad del lanzador. El componente más importante es el SHM que alberga, encapsulada, la carga de pago para inyectar en órbita. El componente SHM se encuentra conectado a la tercera etapa, cuyo peso total en lanzamiento se encuentra entre las 5 y 6 toneladas) y contiene los satélites y la sección de adaptación, el GDS (Gas Dynamic Shield) y la ojiva estándar del misil SS-18. Las dimensiones aproximadas del lanzador, que pueden variar según el diseño del SHM, son de 35 m de altura y 3 m de diámetro; la parte izquierda de la figura 3 muestra el esquema de las etapas del Dnepr.

Aunque cada lanzamiento se diseña de forma particular y adaptada a la carga de pago, incluso para un lanzador determinado, es cierto que de forma global existen las etapas estándar en la secuencia de lanzamiento, en lo que respecta a las relaciones de

altura y velocidad, que serán expuestas posteriormente. Sin embargo, existen dos peculiaridades reseñables del lanzador Dnepr que no aparecen en ningún otro lanzador: una de ellas es una maniobra de giro de 180° que realiza la tercera etapa, conocida en inglés por el acrónimo US (Upper Stage) con la finalidad de liberar múltiples satélites en lanzamientos compartidos; la otra peculiaridad es que el Dnepr despega desde un silo subterráneo, en el que se encuentra completamente enterrado bajo la superficie. El silo contiene una cápsula de transporte que encierra completamente el lanzador, que puede ser almacenado y encerrado durante un tiempo mediante una tapadera superior. Esta característica está heredada del ICBM SS-18, que por su carácter bélico exigía mantenerlo escondido. Un cilindro de pólvora, situado en la base del silo, expulsa fuera de la cápsula el lanzador, el cual, queda suspendido un instante a una altura de aproximadamente 20 m por encima de la superficie donde se enciende la primera etapa de propulsión. La parte derecha de la figura 3 muestra el momento de la ignición de la primera etapa en un lanzamiento Dnepr, donde se aprecia la eyección lateral del cilindro de pólvora que ha producido la expulsión del Dnepr desde el silo de almacenamiento; el humo de la escena es más el producto de la explosión de pólvora que el encendido de la primera etapa.

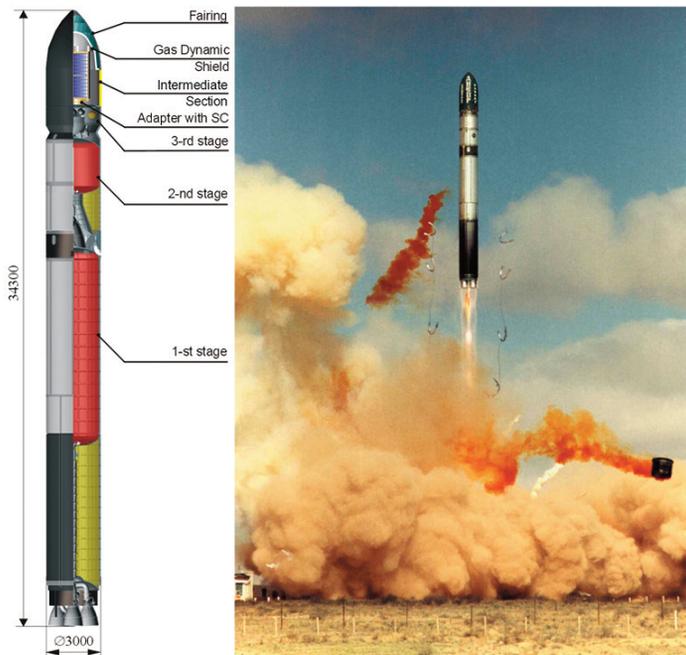


Figura 3. Parte izda: esquema de las etapas del lanzador Dnepr; las dimensiones están expresadas en mm. Parte dcha: Instante de ignición de la primera etapa en un lanzamiento; se aprecia la eyección lateral del cilindro de pólvora (Fuente: ISC Kosmotras)

Los principales eventos de los lanzamientos Dnepr, esquematizados en la figura 4, son prácticamente idénticos entre los diferentes lanzamientos, ya que sigue una secuencia similar siendo las modificaciones existentes las debidas al tipo de lanzamiento dedicado o compartido, y por consiguiente producidas en la fase de separación de la carga de pago. La primera etapa entra en ignición a una altura de 20 m sobre la superficie, una vez que el Dnepr ha sido expulsado del silo. El ascenso es inicialmente vertical hasta una altura de 250 m., comenzando a curvar su trayectoria a razón, aproximadamente, de un grado por segundo durante su ascenso por la troposfera. A los 53 segundos, el Dnepr se encuentra a 11 km de altitud soportando la máxima presión dinámica, cuando su velocidad es de 0.7 km/s; este evento es bastante espectacular en otros grandes lanzadores, como el Shuttle, en el que se produce una capa de vapor de agua condensada a modo de “escudo de avance” perfectamente visible desde la superficie. La separación de la primera etapa se produce a una altitud de 61 km, con una velocidad de 2.7 km/s, transcurrido 1 minuto y 50 segundos desde el despegue, cayendo a un área terrestre de impacto protegida. Tras la separación, la segunda etapa entra en ignición, de forma que realizará prácticamente el resto de la propulsión hasta alcanzar una velocidad de 7.1 km/s a una altura cercana a los 300 km, 4 minutos y 43 segundos después del despegue. La se-

gunda etapa cae en un área dedicada del océano Índico.

Unos segundos después de la separación de la segunda etapa, se produce la maniobra de rotación de la US (Upper stage), peculiaridad propia del Dnepr, en la cual, y durante un período de 7 segundos, se produce una rotación de 180° de la tercera etapa conteniendo el SHM que encapsula los satélites. Después de 8 segundos se produce la separación de la cofia, fase denominada PLF (Payload Fairing Separation); según el lanzamiento, esta fase puede realizarse antes de la separación de la segunda etapa, para aligerar el peso total de ascensión, como está indicado en la figura 5. A partir de ese momento, el lanzador será impulsado por los 4 impulsores de la tercera etapa, arrastrando los satélites encapsulados en el SHM, protegidos de la pluma por el escudo de gas dinámico (GDS), manteniendo la velocidad prácticamente constante y ganando altura progresivamente hacia la órbita de inserción. Cuando dicha órbita ha sido alcanzada, a una altura nominal para la órbita polar heliosíncrona, a los 15 minutos desde el despegue, se va produciendo secuencialmente la separación del GDS, y los satélites que forman la carga útil, en intervalos del orden de 2 segundos. La puesta en órbita ha concluido. En la figura 4 pueden consultarse de forma esquemática, todos los eventos del lanzamiento sobre las curvas de evolución de velocidad y altura.

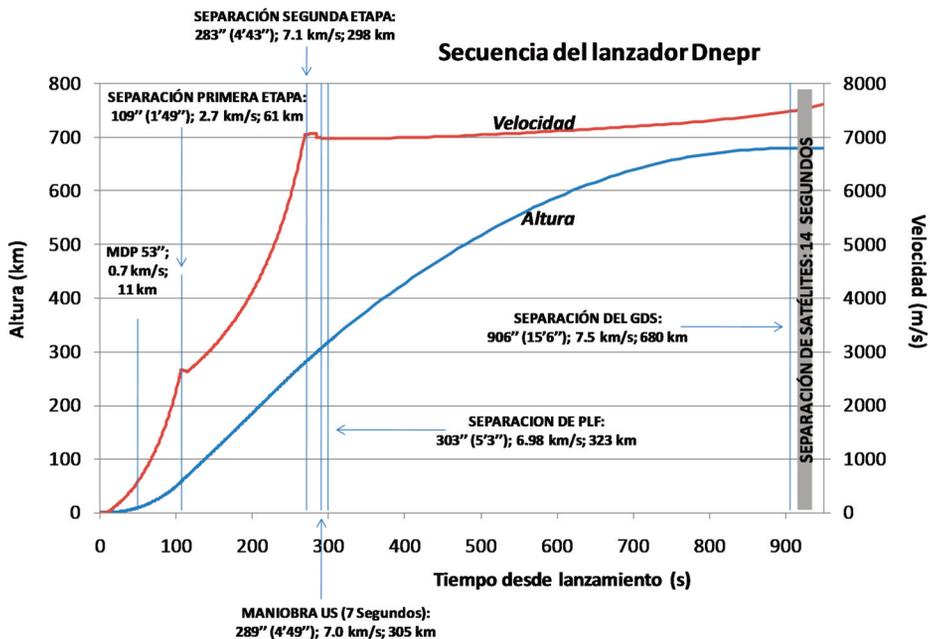


Figura 4. : Secuencia de los principales eventos, sobre la evolución altura y velocidad, en el último lanzamiento del programa Dnepr (Fuente: elaboración propia)

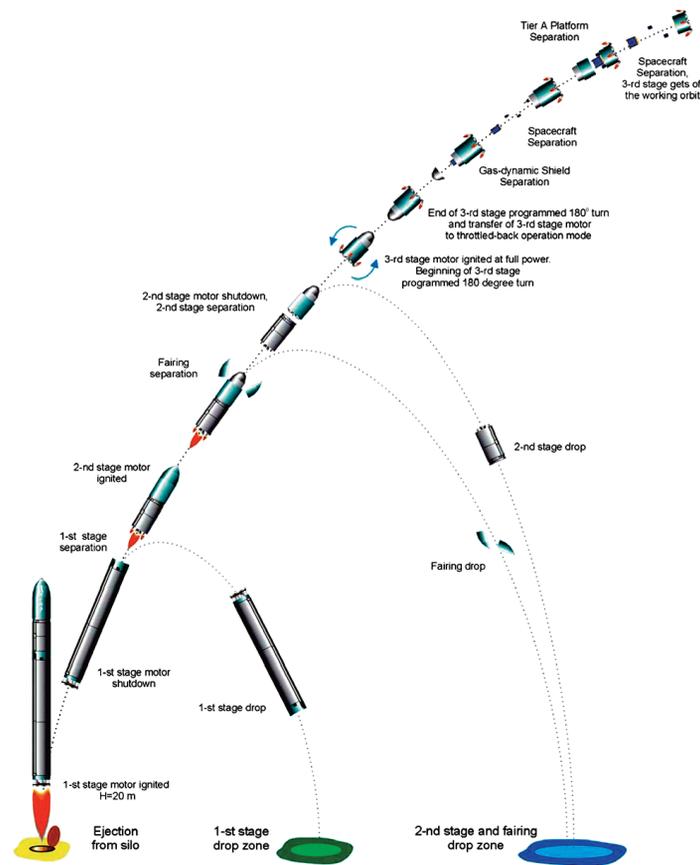


Figura 5. Secuencia de los principales eventos, de forma esquemática (Fuente: Dnepr user's guide, Kosmotras)

De todos los componentes del Dnepr, el más importante, desde el punto de vista de la carga de pago, es el SHM (Space Head Module), donde se encuentran encapsulados los satélites que serán inyectados en órbita. Existen diferentes configuraciones dependiendo del tipo de lanzamiento, dimensiones de los satélites y si se trata de lanzamientos dedicados o compartidos; puede encontrarse una descripción detallada en el Dnepr user's guide.

Básicamente consta de la ojiva, una sección cilíndrica intermedia y adaptadores si se trata de lanzamientos compartidos, una membrana protectora, el GDS (Gas Dynamic Shield) y por supuesto los satélites colocados en dos plataformas si se trata de lanzamientos múltiples. El GDS protege los satélites de la pluma del motor de la tercera etapa, una vez que ha tenido lugar la maniobra de rotación de todo el conjunto tras la separación de la segunda etapa. Hay que destacar que la integración de los satélites

en el módulo SHM se realiza en los laboratorios anejos a la plataforma de lanzamiento, mientras que el conjunto de etapas del lanzador se encuentran en el silo de almacenamiento. Posteriormente el SHM se ensambla al Dnepr en el propio silo de lanzamiento. La figura 6 muestra la integración de los satélites en el último lanzamiento Dnepr realizado, donde aparece la plataforma superior con los satélites UK-DMC-2, Deimos-1 y Nanosat-1B. La fotografía ha sido difundida por Kosmotras a través de la página web oficial de Roscosmos, algunos días anteriores al lanzamiento el 29 de Julio de 2009.

En dicha plataforma superior están integrados otros dos satélites, AprizeSat-3 y AprizeSat-4; es decir, un total de 5 satélites. El resto del SHM estaba compuesto por la plataforma inferior en la que estaba integrado el Dubaisat-1. La secuencia de separación en este lanzamiento fue la siguiente: AprizeSat-3, Nanosat-1B, AprizeSat-4, UK-DMC-2, Deimos -1 y DubaiSat-1.

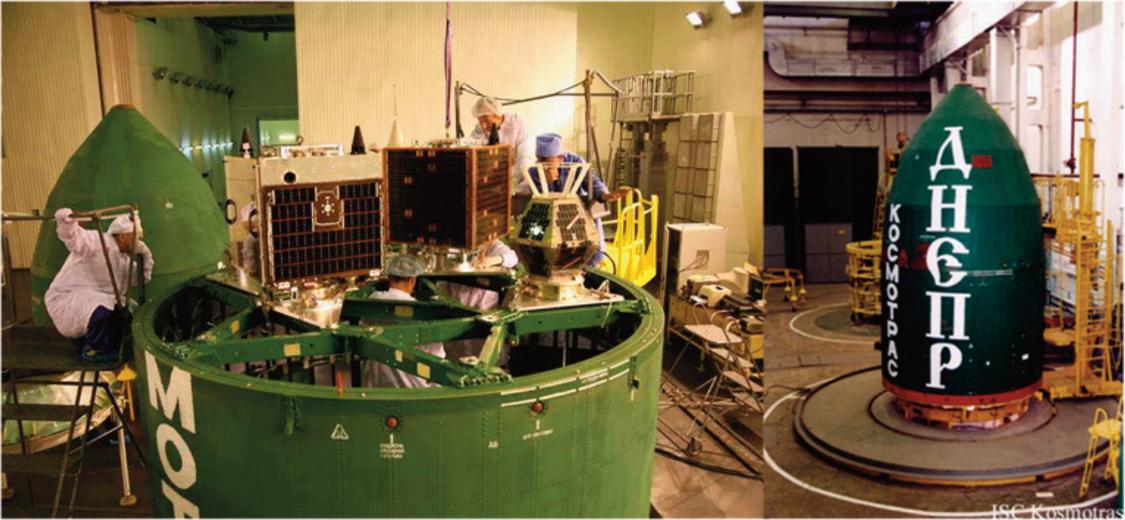


Figura 6. : Integración de los satélites UK-DMC-2, Deimos-1 y Nanosat-1B en la segunda plataforma del SHM del último lanzamiento Dnepr. Fotografías difundidas por Kosmotras a través de la agencia oficial de Roscosmos, en días previos al lanzamiento del 29 de Julio de 2009.

CONSIDERACIONES FINALES

El mercado ruso de lanzadores de pequeños satélites ha encontrado su hueco en los programas de misiles intercontinentales reconvertidos, grupo al que pertenecen todos los pequeños lanzadores a excepción del Cosmos-3M; y ello es así gracias a los factores: precisión, fiabilidad y bajo coste. La ESA está haciendo uso de esta solución a través del lanzador Rockot, gestionado por Eurockot con lanzamientos desde Plesetsk para el lanzamiento de los satélites exploradores del programa “Living Planet”, al menos hasta que el lanzador Vega, que está bajo desarrollo, se encuentre en operación. Bajo el Programa Dnepr, gestionado por Kosmotras, se han realizado 13 lanzamientos de los cuales sólo uno resultó fallido; en cualquier caso Dnepr es una magnífica solución para el lanzamiento de clusters, como lo demuestra su andadura.

El futuro de estos lanzadores está sujeto a la disponibilidad de misiles almacenados y por tanto existe una limitación en tiempo; esta incidencia afecta tanto a Rockot como Dnepr, por mencionar los más importantes, aunque probablemente la restricción de Dnepr es aún mayor debido a que no sólo influye la fecha de interrupción de fabricación del misil SS-18 sino también los complicados procesos que afectan a la prolongación de su vida útil. En cualquier caso tanto para Dnepr como Rockot su operación estaría garantizada al menos hasta 2015.

En estas fechas, el lanzador Angara que está siendo desarrollado, debería tomar el relevo a los programas de conversión de misiles. Respecto a Dnepr, hay algunas fuentes (russianspaceweb) que mencionan un stock cercano a 300 unidades, aunque todas estas cuestiones siguen estando en manos de gestores militares y manejadas con amplias dosis de secretismo. Y para ilustrar esta afirmación, ante la indiscreta pregunta de “¿cuántos quedan?” el autor recibió la respuesta escueta, por parte del personal de Kosmotras y Roscosmos: “top secret”.

DIARIO DE UN LANZAMIENTO

Este epígrafe recoge algunos comentarios relativos al más reciente lanzamiento Dnepr: la puesta en órbita de los satélites españoles Deimos-1, de observación de la tierra (propiedad de Deimos-Imaging), y NanoSat-1B, de comunicaciones (propiedad del INTA). El lanzamiento fue realizado con éxito desde Baikonur el 29 de Julio de 2009 a las 18:46 GMT.

La vista aérea de Baikonur en la llegada por avión, denota claramente el paisaje en el que se encuentra enclavado el cosmódromo: una zona semidesértica, sin cultivos, sin vegetación, absolutamente plana y con el cielo despejado. Bajo este paisaje, con tan adecuadas características para lanzamientos espaciales, se extienden 6700 km² en los que aparecen diseminadas diferentes plataformas de lanzamiento

y algunos edificios donde se realiza la integración de los satélites en cada lanzador; son las denominadas *facilities* asociadas a los diferentes lanzadores. Destaca por su importancia histórica la plataforma número 1, ocupada actualmente por los lanzadores Soyuz y desde la que en 1957 salió el lanzador R7 con el primer satélite de la historia a bordo: el Sputnik, y en 1961 salió el lanzador Vostok-1 con el primer astronauta de la historia: Yuri Gagarin. Un monumento, en esta plataforma, con un satélite Sputnik idéntico al lanzado, recuerda estos hechos. Además, muy cerca de la entrada al cosmódromo se conserva la casa donde residió el artífice de la historia de los lanzadores rusos, Sergei Korolev, quien en 1957 era el único que tenía línea directa con el Kremlin en Moscú. En aquella casa, Korolev y Gagarin compartieron muchas horas de trabajo en el momento más importante de la historia del espacio. El origen militar de Baikonur explica que se le diera una denominación correspondiente a otra ciudad muy distante, con la finalidad de dificultar su localización. Aunque el cosmódromo se encontraba inicialmente en territorio de la antigua URSS, hoy día pertenece a territorio de Kazajstan, gestionado por Rusia, en contrato vigente hasta 2050 por valor de 115 millones de dólares al año.

La entrada en Baikonur, a través de un campo de aviación militar (Krainiy) se realiza comprobando la identidad en un listado confeccionado con una anterioridad a 2 meses. Estas gestiones administrativas, precedidas de una carta de invitación personal por parte de Kosmotras, son dirigidas al Ministerio de Defensa Ruso, representado por Roscosmos. Krainiy no es un aeropuerto, como tal, sino más bien un control de entrada a Baikonur por donde se accede, desde Moscú, en un vuelo charter contratado y compartido con personalidades militares relacionadas con el programa de misiles reconvertidos Dnepr.

De todas las residencias relacionadas con el cosmódromo la más relevante es el Hotel de los Cosmonautas, donde son alojados los representantes desplazados para el lanzamiento y el mismo donde han residido todos los astronautas que han partido desde este cosmódromo, siguiendo un recorrido protocolario que emula el que en su día realizó Gagarin. Es precisamente en este hotel donde se sigue la tradición de plantar un árbol por cada astronauta. En sus jardines pueden verse todos los árboles con el nombre y la fecha y a lo largo de sus pasillos se encuentran las fotografías de todas las tripulaciones espaciales que han viajado al espacio en el Soyuz.

El lanzamiento número 13 de Dnepr fue nocturno,

el 30 de Julio de 2009 a las 00:46 hora local de Baikonur (29 Julio 18:46 GMT). Cuatro horas antes del lanzamiento tiene lugar la reunión del Comité de Lanzamiento, reunión protocolaria presidida por un General militar que representa a Roscosmos, el responsable de diseño de satélites, que representa a Kosmotras, el Presidente de la región de Kazajstan donde se enclava el cosmódromo y un intérprete de Kosmotras para traducir al inglés todas las intervenciones realizadas en ruso, a los representantes de cada satélite que asisten al lanzamiento. En la reunión se informa acerca de los test realizados al Dnepr así como el informe de los resultados de integración de cada uno de los satélites de la misión: DubaiSat-1, Deimos-1, UK-DMC-2, NanoSat-1B, AprizeSat-3 y AprizeSat-4. El resultado de la reunión, de 30 minutos, es el GO FOR LAUNCH.

La presencia en un lanzamiento nocturno lleva acompañado el privilegio inédito de conocer el cosmódromo durante la noche. La distancia desde el Hotel de los Cosmonautas hasta la plataforma de observación del lanzamiento, en el site 109, es de aproximadamente 60 km, realizados durante una hora a través del interior del cosmódromo. El panorama es impactante por la oscuridad total, sólo parcialmente interrumpida por luces diseminadas en la lejanía, que indican la posición de alguna plataforma de lanzamiento, visibles gracias a la planicie del terreno. El punto de observación, situado a una distancia de 5 km del silo en el que se encuentra el Dnepr, es un pequeño edificio cuyo tejado está ocupado por tres mesas, con los correspondientes teléfonos, desde los que los representantes de cada misión retransmitirán el lanzamiento en directo a sus países respectivos, en este caso Dubai (DubaiSat-1), Reino Unido (UK-DMC-2) y España (Deimos-1); también está presente una serie de banderas de cada uno de los países implicados en la misión. Desde allí es visible el punto de lanzamiento y una pantalla donde se proyectan la secuencia de tiempos y una simulación del lanzamiento, que servirá de referencia cuando el Dnepr esté fuera del alcance visual.

Al margen de los detalles técnicos, expuestos en epígrafes anteriores, el instante del lanzamiento está marcado por una explosión de pólvora que expulsa el Dnepr de 211 toneladas, fuera del silo de almacenamiento, seguido del encendido de la primera etapa. La visibilidad del cohete desde la distancia de 5 km es perfecta y rápidamente se aprecia la curvatura de la trayectoria mientras el lanzador sigue en ascenso. Otra de las ventajas del lanzamiento nocturno es que se aprecia con absoluta claridad el

momento de separación de la primera etapa, 1 minuto y 49 segundos después del despegue a una altura de 61 km. A partir de ahí el lanzamiento es seguido a través de la pantalla de simulación y los datos reales de telemetría y secuencia de eventos que son transmitidos por megafonía en ruso por el personal militar situado en alguno de los búnkers. 15 minutos después del lanzamiento se produce la separación de los satélites, en un punto del océano Índico a la altura de las costas de Somalia; es el momento más celebrado de la noche y el que establece que el lanzamiento ha sido un éxito.

El resto de la noche servirá para intercalar la celebración en Baikonur con comunicaciones con la central de control en Boecillo (para el caso del Deimos-1) para mantenerse informado de la conexión y recepción de las primeras señales del satélite y reportarlo en la reunión del día siguiente. Esta reu-

nión de carácter oficial, y presidida por Roscosmos, comienza con la clásica pregunta del representante de Roscosmos a cada uno de los representantes de cada satélite: “¿están vivos vuestros satélites?”. En un acto oficial se hace entrega del certificado de inyección orbital, el documento que acredita que el Dnepr liberó cada satélite en un instante perfectamente datado y recogido a través de la estación de Roscosmos en Omán. El trabajo de Kosmotras y Roscosmos ha finalizado, el trabajo de los que estamos involucrados en cada satélite comienza en ese instante y esperemos que dure lo más posible.

REFERENCIAS

KOSMOTRAS, Space Launch System, Dnepr. User's guide, Issue 2, November 2001.

ROSCOSMOS, official agency. Web site: <http://www.roscosmos.ru>



Figura 7. Lanzamiento número 13 del programa Dnepr, el 29 de Julio de 2009 18:46 GMT