

Planificación de centros espaciales: aproximación conceptual al caso Argentino

Joaquín Piechocki¹, Matías Pellegrini¹, Hernán González Ghirimoldi², y Alejandro Di Bernardi¹

¹Grupo Transporte Aéreo – UIDET GTA-GIAI, Facultad de Ingeniería, UNLP, Buenos Aires, Argentina

²Facultad de Ciencias Económicas, Universidad Nacional de La Plata, Buenos Aires, Argentina

Resumen— El presente trabajo tiene por objeto modelar de manera esquemática aspectos de la planificación técnica y territorial de los Centros Espaciales a partir del estudio de casos, que incluyen los centros a nivel mundial que actualmente se encuentran en actividad. Existe una concepción de la actividad espacial, su evolución, su interrelación con otros medios de transporte y suministros, que condicionan los patrones de disposición funcional que regularán su ciclo de vida. Para la reconstrucción de estos criterios es necesario el estudio de instalaciones, localización y funcionalidad relativa, además de los sistemas de cohetes presentes y futuros que se sirvan. Este estudio resulta en una serie de lineamientos generales para la planificación de centros espaciales y sus variables principales, enfocado específicamente a la actividad espacial potencial Argentina.

Palabras clave—Planificación, Centro de lanzamiento espacial, Infraestructura espacial terrestre

Abstract— The objective of the present is to model schematically the technical and territorial planning of space centers, based on the study or real cases, which include space centers currently operating around the world, specifically to the Argentinean case. The functional disposition that regulates its life cycle is conditioned by the conceptions of the space activity, its evolution, its interrelation with other means of transportation and supply. For the construction of criteria it is necessary studying processes and the facilities involved, their localization and relative functionality, as well as the study of the current and future launch systems. This study results in a series of general guidelines for space centers planning and their main variants, specifically focused in the potential space activity in Argentina.

Keywords— Master Planning, Space launch centre, Space ground infrastructure

INTRODUCCIÓN

Un centro espacial es un conjunto de instalaciones pensadas para la preparación y el soporte de lanzamientos de vehículos espaciales. La planificación y el diseño de estas instalaciones se encuentran definidos por los procesos relativos al dominio de vehículos espaciales de propulsión química y despegue vertical. A partir de esta hipótesis es posible establecer una serie de criterios en base a los cuales se determinan las variables de diseño centrales para el diseño del centro y de las instalaciones que lo componen.

DETERMINANTES DE DISEÑO DE UN CENTRO ESPACIAL

Si se considera el diseño de un centro espacial tipo como un sistema aislado, su principal condicionamiento se encuentra dado por la misión que el vehículo está destinado

a cumplir, la seguridad de las operaciones involucradas, que implica la gestión, control y mitigación de riesgos, humanos y materiales, y el impacto que genera en el entorno natural y social.

Proponemos como definición de misión la de poner una masa determinada en una órbita específica en un momento señalado. Si la descomponemos en elementos constitutivos, podemos identificar:

-la masa de la carga útil, que condiciona la escala del lanzador y por tanto de la totalidad de las instalaciones,

-la órbita específica, que además de condicionar la escala general de la infraestructura y procesos, lo hace al respecto de la denominada ventana de lanzamiento,

-la cadencia de lanzamientos requerida, que establece la capacidad logística y operativa del centro para garantizar que lanzamientos sucesivos puedan realizarse en un periodo de tiempo determinado.

El proceso de preparación para el lanzamiento comienza cuando se selecciona el lanzador que pondrá la carga útil en órbita. La carga útil y el lanzador son recibidos en el Centro

Dirección de contacto:

Joaquín Piechocki, UNLP Facultad de Ingeniería Depto. de Aeronáutica UIDET GTA-GIAI, Calle 116 s/n entre 47 y 48, La Plata (1900), Buenos

Aires, Argentina. Teléfono +54 221 423 6679 int 147 E-mail joaquin.piechocki@ing.unlp.edu.ar

Espacial, donde la carga útil es preparada para el vuelo y el lanzador es ensamblado, integrándolos. Las verificaciones que se realizan sobre este vehículo y el procedimiento de activación y preparación para su despegue forman parte de la cuenta regresiva, proceso cuya conclusión se produce en el despegue. En la Figura 1 se muestra un esquema del proceso mencionado.

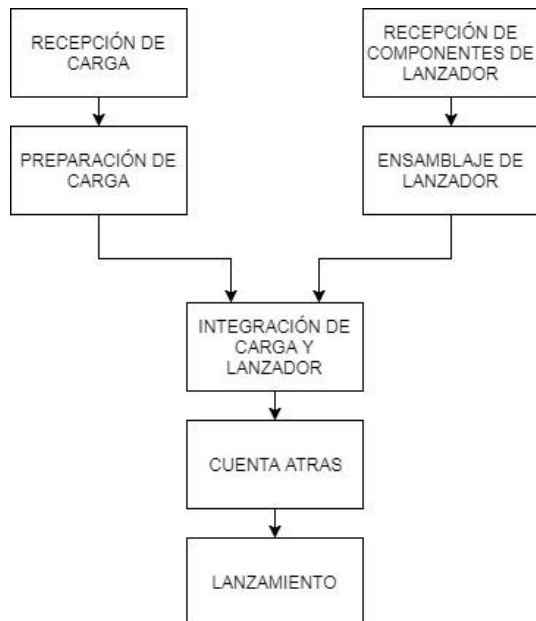


Fig. 1. Esquema de operaciones realizadas en un centro espacial

Las operaciones del centro espacial después del lanzamiento están destinadas al control y seguimiento de la misión hasta su finalización, y la restitución de la capacidad operativa post-lanzamiento.

Adams & Petrov et al. [1] proponen un abordaje de planificación similar a la que se realiza con la planificación aeroportuaria. Proponen una metodología de categorización de los requerimientos operacionales.

Las categorías que proponemos incluyen la siguiente síntesis:

Parte aeroespacial. Dentro de esta categoría están incluidas todas las operaciones directamente relacionadas con la campaña de lanzamiento, vinculadas con trabajos sobre el vehículo espacial. Se pueden identificar las siguientes infraestructuras requeridas:

- Accesos terrestres - carretera, ferroviaria, fluvial/marítima.
- Terminales de procesamiento y ensamblaje de carga.
- Infraestructuras de integración y ensamblaje de vehículo espacial.
- Infraestructuras de integración de carga.
- Infraestructuras de integración de equipaje de pasajeros.
- Infraestructuras de para las verificaciones finales de vehículo espacial.
- Medios de transporte a los complejos de lanzamiento.
- Complejos de lanzamiento.
- Infraestructura de operaciones de pre-vuelo del vehículo espacial.
- Infraestructura de operaciones de pos-vuelo del vehículo espacial.

Parte aeronáutica: Se incluyen todas las operaciones relacionadas con vehículos aéreos de despegue y aterrizaje horizontal. Incluye:

- Pistas, rodajes y plataformas para operaciones de aeronaves.
- Terminales de pasajeros y de carga.
- Instalaciones de mantenimiento de aeronaves.
- Instalaciones de mantenimiento de pistas.
- Torre de control e instalaciones asociadas a la gestión del espacio aéreo.
- Infraestructura de navegación y radioayudas.

Sistemas de soporte aeroespacial. Se incluyen todas las operaciones esenciales de aprovisionamiento y procesamiento previo. Incluyen las siguientes instalaciones:

- Planta de producción y/o recepción de combustibles.
- Terminal de control de operaciones en tierra y operaciones de vuelo.
- Terminal de seguimiento y soporte de área de sobrevuelo.
- Centro de operaciones de misión.
- Infraestructura de búsqueda y rescate, seguridad en área de sobrevuelo y servicios médicos.
- Sistema de restauración y mantenimiento de sistemas de soporte terrestres.

Sistema soporte de personal. Incluye las operaciones asociadas al servicio del personal directamente relacionado a la campaña de lanzamiento y a los pasajeros que abordarán el vehículo espacial. Incluye las siguientes instalaciones:

- Planta de procesamiento de pasajeros.
- Centro de entrenamiento de pasajeros.
- Infraestructura de examinación y soporte médico.
- Infraestructura de servicios generales para la tripulación de vuelo e instructores.
- Otras infraestructuras de servicio.

Las operaciones de soporte restantes, no involucradas en la campaña de lanzamiento pero sin las cuales el centro espacial no puede funcionar, incluyen:

- Ingeniería de centro espacial
- Logística de centro espacial
- Sistemas de información y soporte técnico informático
- Gestión de vehículos terrestres
- Gestión estratégica, operacional y económica de centro espacial
- Seguridad

Las instalaciones a las cuales el público en general puede acceder incluyen típicamente: accesos, instalaciones para conferencias, espacios para proveedores de servicios y promociones, hoteles, restauración, centros de comercialización.

HIPÓTESIS DE APLICACIÓN AL CASO ARGENTINO

Para analizar el caso de la construcción de un centro espacial en Argentina es necesario definir un perfil de misión y un lanzador de diseño.

Al respecto de la misión de diseño, analizando las misiones de satélites nacionales, se comprueba que el tipo de órbita utilizadas son de baja inclinación, geoestacionaria, sol-sincrónica, o polar baja. Por esta razón estas son adoptadas como las órbitas de diseño. Si bien el lanzamiento a latitudes cercanas al ecuador representan la condición más favorable para alcanzar órbitas geoestacionarias en términos de ahorro de combustible y complejidad de la operación, es posible alcanzarlas desde territorios que no cumplan con esta condición como sucede, por ejemplo en el cosmódromo de Baikonur, Kazajistán, ubicado a 46° .

Por otro lado la carga más grande lanzada de estos antecedentes indica que 3 toneladas de carga paga puede ser establecido como objetivo de nuestro centro. Esta hipótesis determina la categoría de lanzador, de pequeña escala relativa, que configura parcialmente los procesos descriptos en la Fig. 1.

El parámetro de cambio de velocidad del vehículo, Δv , describe de manera general la magnitud de impulso que se necesita para completar la operación que va a realizar el vehículo, y es proporcional al empuje por unidad de masa en el tiempo que es necesario utilizar. Para una maniobra de despegue general y la puesta en órbita de una carga en órbita baja terrestre, se puede contabilizar aproximadamente 9 km/s, y una velocidad de 4500 metros por segundo, como referencias a nuestro caso hipotético. El resultado es que aproximadamente el 87% de la masa del vehículo estará formado por combustible (modelo clásico de Tsiolkovsky).

Una manera de estimar esta masa total al despegue es empleando la fracción de carga del vehículo, que es la relación entre la masa de la carga transportada y la masa total del vehículo. En la tabla 1 se muestran casos de fracciones de carga para vehículos lanzadores en operación.

TABLA 1. Fracciones de carga para diferentes lanzadores orbitales

Lanzador	País	Fracción de carga %
Ariane 5	UE	2.69
Vega	UE	1.04
Saturn Ib	EUA	3.56
Saturn V	EUA	4.71
Antares 230	EUA	2.68
Atlas V	EUA	6.05
Delta IV Heavy	EUA	3.54
Falcon Heavy	EUA	4.49
H-IIA	Japón	3.37
PSLV	India	1.08
Proton-M	Rusia	3.26
Soyuz FG/Fregat	Rusia	2.56
Soyuz 2	Rusia	2.61

Si se adopta una fracción de carga hipotética del 3%, para 3 toneladas de carga paga, se necesitará estimativamente 87

toneladas de combustible, para un vehículo de aproximadamente 20 toneladas. A partir de estas estimaciones iniciales es posible dimensionar sistemas, equipos e instalaciones.

Si tomamos como referencia a los combustibles hipergólicos, el lanzamiento considerado es equivalente a la detonación de 8.7 toneladas de TNT, lo cual permite establecer áreas de despeje mínimas para instalaciones e infraestructura logística.

LOCALIZACIÓN

Una serie de factores influyen la ubicación en la que se encuentra emplazado el centro espacial. Entre estas se pueden distinguir: la órbita objetivo de la misión de diseño, las zonas de sobrevuelo, la ubicación de estaciones de seguimiento, los factores geográficos específicos, las condiciones climatológicas y los factores ambientales.

La órbita objetivo definirá un perfil de vuelo, derivado de la trayectoria del vehículo. Una de las principales variables que definen esta trayectoria es el azimut de despegue.

Una vez que la órbita es alcanzada, esta puede ser caracterizada a partir de seis variables, conocidas como elementos orbitales: excentricidad, semieje mayor, Inclinación, longitud del nodo ascendente, argumento del periastró y anomalía media de la época.

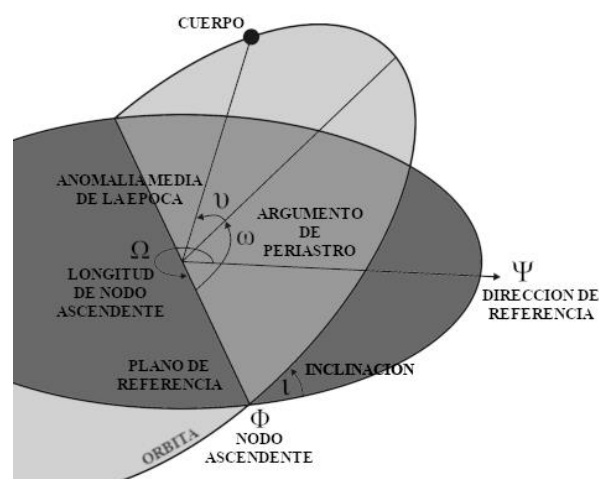


Fig. 2. Elementos orbitales.

El primero de estos elementos, la excentricidad de la órbita, depende del perfil de ascenso de vehículo, y de la velocidad de inyección en la entrada a la órbita. Estos parámetros tienen relación directa con el diseño del lanzador, y de manera derivada, con el centro espacial. La inclinación de la órbita alcanzada se relaciona directamente con dos variables de diseño del centro espacial: su localización (la latitud, y el azimut de la trayectoria de ascenso).

De esta relación se puede observar que la mínima inclinación orbital es igual a la latitud del punto de lanzamiento, y se obtiene cuando el lanzamiento es hacia el este. Azimuts de despegue diferentes aumentarán la inclinación de la órbita. La ubicación de un centro espacial en la menor latitud posible reduce los requerimientos de combustible asociados a maniobras de corrección.

Además de la inclinación orbital, la latitud en la que está emplazado el centro espacial también influye de otras maneras en su diseño. Esto se debe a que la propia rotación de la Tierra dota al vehículo lanzador de velocidad que no

deberá proveer por sus propios medios, lo que se traduce en un ahorro de combustible. La velocidad de rotación de la superficie terrestre varía según la latitud siguiendo la función coseno de la latitud. Cuanto menor sea latitud en la que se emplace el punto de lanzamiento, mayor será la velocidad que la propia rotación del planeta le imprimirá al vehículo lanzador, y mayor será el ahorro de combustible.

La orografía del entorno de la localización del centro espacial puede limitar azimuts de despegue y afectar su operación. Las instalaciones de seguimiento deberán ser ubicadas en puntos que permitan el contacto visual con el vehículo en ascenso. Por otro lado la geografía también impacta en la estabilidad de las edificaciones, los obstáculos y su influencia sobre la parte aeronáutica, la difusión de contaminantes gaseosos y sonoros, las condiciones de transporte dentro del centro (pendientes y desniveles), entre otros. Las condiciones del terreno, finalmente, impactarán sobre la definición de instalaciones de drenaje en superficie y bajo superficie, y tratamiento de efluentes líquidos.

Las condiciones climatológicas son aspectos a tener en cuenta en la elección de la localización por cuanto los fenómenos que se desarrollan determinan las medidas necesarias para asegurar la operación segura, efectiva y eficiente del centro espacial.

Los vientos juegan un papel preponderante en la operación del centro. Todas las operaciones del centro espacial están sujetas a estrictos límites de viento, lo cual implica que sean planificados de acuerdo a la predicción del fenómeno. La posición de transporte y preparación de los vehículos a lanzar, vertical u horizontal, depende de esta planificación, como se manifiesta en distintas instalaciones a través del mundo: Florida, donde las operaciones son verticales, y las estepas asiáticas donde son horizontales. Además, la parte aeronáutica deberá ser emplazada de acuerdo a las condiciones de viento predominantes. Las condiciones ambientales, sobre todo la temperatura, también resultan un limitante del funcionamiento.

La decisión sobre la ubicación del centro espacial también se encuentra sujeta a la presencia de áreas pobladas y otras zonas a las cuales no se puede sobrevolar. Esto limita los azimuts a los que se puede lanzar, y en consecuencia, las inclinaciones orbitales obtenibles.

La zona que un vehículo espacial sobrevuela y el espacio aéreo que atraviesa son áreas de riesgo durante todo lanzamiento. Típicamente motores auxiliares y primeras etapas son descartados durante el vuelo. En la actualidad existen lanzadores cuyas primeras etapas regresan a tierra de manera controlada. Por esta razón, tanto el área de sobrevuelo como el espacio aéreo atravesado deben ser restringidos durante un lanzamiento. Transportes comerciales y particulares, ya sean estos terrestres, acuáticos, o aéreos, deben ser desviados. Esto se traduce en demoras y mayores consumos de combustible por parte de las aeronaves que deben ser desviadas para evitar la zona de exclusión impuesta en la zona de vuelo del vehículo espacial, tal como menciona la *Airline Pilots Association* [4]. Una zona de sobrevuelo y espacio aéreo limpios de toda intrusión son criterios de importancia a la hora de determinar una localización potencial, como muestran Ellegood, & Eleazer [2].

La instalación de un centro espacial tiene un gran impacto sobre el área que lo rodea. Todas las facetas de este impacto deben ser determinadas y evaluadas como criterio para la

definición del emplazamiento. Los impactos incluyen aquellos sobre el entorno ambiental, biológico y social. La estabilidad del ecosistema donde se localiza el centro de lanzamiento, junto con la evaluación del impacto ambiental, componen un conjunto de condicionamientos de diseño que incluye cada una de las actividades a desarrollarse en la operación de las instalaciones, en la construcción, y en su clausura.

Si asumimos que la calidad del aire se define como la concentración de contaminantes específicos en el aire ambiente, Abela et al. [5], se puede observar que la operación del centro espacial impactará negativamente en ella. Los trabajadores involucrados se encontrarán particularmente expuestos a la posibilidad de permanecer bajo condiciones de concentración localizada de contaminantes.

Los desplazamientos de tierra necesarios para la construcción de instalaciones e infraestructura pueden causar el desplazamiento de especies autóctonas y la destrucción de sus hábitats. El ruido generado, especialmente aquel generado durante el despegue de un vehículo espacial, tiene un impacto de gran intensidad en entorno del centro espacial. Es esperable que todo ejemplar que se encuentre en la zona de sobrepresión, en la cercanía inmediata del lanzador durante el despegue, sea mortalmente herido. Más allá de esta zona de exclusión, los niveles de ruido tienen una intensidad lo suficientemente alta para perturbar a todo espécimen en las cercanías del complejo de lanzamiento y más allá.

También se debe tener en cuenta las consecuencias que una falla catastrófica durante el despegue tendría sobre el ambiente, el impacto de la contaminación debido a los escombros desperdigados y a las sustancias peligrosas derramadas debe ser analizado. Este análisis se extiende a toda el área de sobrevuelo del vehículo espacial.

La existencia de sitios de interés cultural, como los sitios arqueológicos o históricos, debe ser determinada para el análisis del riesgo existente por las operaciones del centro espacial. A su vez, la instalación de un centro espacial tiene importantes efectos socioeconómicos sobre el área circundante, como fuente de concentración de actividad económica.

El caso de la instalación de un centro de lanzamiento en el territorio Argentino implica la aplicación de todas las consideraciones realizadas. Para poder realizar esta tarea el proceso más habitual es establecer un grupo inicial de localizaciones posibles las cuales se evalúan en distintas etapas del proyecto, en donde las definiciones del impacto de la instalación del centro cobran una definición creciente, y en donde la participación de los actores sociales específicos son incorporados al proceso.

Como primera aproximación es posible arribar a la conclusión que son convenientes localizaciones costeras que permitan áreas de sobrevuelo con poco compromiso hacia el este, entre una latitud de 35° y 39°. Estas latitudes delimitan una franja que va aproximadamente de Punta Indio a Bahía Blanca. Desde estas latitudes es posible alcanzar órbitas de baja inclinación, geoestacionarias, sol-sincrónicas, o polar baja. Esta ubicación tendrá impacto en las maniobras de puesta en órbita en cada operación que se planifique, y presentará una situación diferencial relativa al respecto de otros centros de lanzamiento en el mundo.

Para la elección de una localización específica también es necesario observar las infraestructuras logísticas presentes en el lugar que puedan aprovecharse en beneficio mutuo entre el centro espacial y el centro poblacional para el cual fue construido. Particularmente los aeropuertos tienen no solo una vinculación de logística terrestre y aérea estructurada sino también áreas de servidumbres y afectación de distinto tipo. Este hecho hace que los aeropuertos existentes sobre esta línea costera sean los principales lugares de análisis, sin que por este criterio de economía de medios invalide otros.

OPERACIONES Y ASOCIACIÓN CON EL ENTORNO

El desarrollo y funcionamiento de un centro espacial necesita de una serie de relaciones funcionales internas y externas que condicionan su configuración y operación general.

La definición de un lanzador de diseño, conjuntamente con la definición de la ubicación del centro espacial, permite analizar los subsistemas componentes y sus relaciones.

INTEGRACIÓN DE LOS VEHÍCULOS E INSTALACIONES ASOCIADAS

Dos grandes tendencias emergen al tratar este proceso. En la primera de ellos, lanzadores y cargas son ensamblados y preparados para el vuelo en el mismo complejo de lanzamiento desde el que luego serán lanzados. A este modelo se lo conoce como *Built-on-Pad* (BoP). Por otro lado otro modelo propone que el vehículo sea ensamblado e integrado en un edificio separado, y luego transferido al complejo de lanzamiento desde donde será lanzado. Este modelo es conocido como *Integrate-Transfer-Launch* (ITL).

Cuando se sigue el modelo BoP, la actividad se centra alrededor del complejo de lanzamiento, y dentro de este último, alrededor de la plataforma sobre la que el vehículo es montado. Alrededor se ubican las instalaciones de soporte que incluyen infraestructuras de servicio, sistemas de almacenamiento de combustible e interfaces entre vehículo y tierra. Una vez que terminan las tareas de ensamblado e integración, la estructura de servicio móvil es retirada a una distancia segura, revelando al vehículo montado sobre la plataforma, conectado a los sistemas de soporte de tierra mediante conexiones umbilicales montadas en un mástil contiguo. La principal ventaja de este modelo es su simplicidad, ya que todas las operaciones de lanzador y todas las operaciones conjuntas se realizan utilizando las mismas instalaciones. Solo las tareas realizadas sobre la carga útil se realizan fuera del complejo. Gracias a esto, la cantidad de instalaciones y equipos necesarios disminuye. Sin embargo, dado que el lanzador es ensamblado en el complejo mismo, el período de ocupación de este aumenta, lo que implica un límite en la cantidad de campañas de lanzamientos que es posible realizar en un cierto período de tiempo.

El modelo *Integrate-Transfer-Launch* (ITL) fue la respuesta a la necesidad de aumentar la cadencia de despegues de un centro espacial. Una vez que los componentes del lanzador son recibidos en el centro, son procesados y preparados en instalaciones preparadas. Luego, todos los componentes son llevados a un edificio especialmente diseñado para el ensamblaje e integración del lanzador y su carga. Cuando este proceso es llevado a cabo

con éxito, el vehículo es transportado al complejo de lanzamiento, donde se realizan las preparaciones finales y el lanzamiento. De esta manera, y como es explicado por Finger Gulliver & Keller [6], mientras las operaciones de lanzamiento para el vehículo recién transferido a plataforma son realizadas, un nuevo vehículo y su carga pueden ser ensamblados e integrados en el edificio de integración.

Para nuestro caso de aplicación se adopta la integración horizontal por cuanto es la que en términos generales se vincula a menores costos de infraestructura y riesgos, menores servidumbres y condicionamientos en su contexto de implementación, mayor cadencia potencial de lanzamientos, pero mayores tiempos de proceso. Este mismo modelo también permite el lanzamiento desde plataformas fijas o móviles.

Esta estrategia supone disponer de un sistema de transporte del vehículo integrado, además de aquel que corresponden a los insumos y subconjuntos cuyo traslado se necesita en ambos modelos.

La instalación de ensamblado, que recibirá la carga útil y los componentes del lanzador, transferirá a lo largo de una distancia mínima segura el vehículo para su izaje en posición vertical y preparación previa al lanzamiento. Esta distancia se estima a partir del equivalente de TNT del combustible del lanzador de diseño que permite establecer una distancia de 600 m, o de 300 m si se disponen medios de protección adecuados.

La instalación de ensamblado recibe todos los componentes que formarán parte del vehículo espacial, y son recibidos, inspeccionados y certificados para el vuelo. Adicionalmente se realizan tareas de recepción y montaje de la carga útil sobre el lanzador, y la cofia cerrada. La porción de mayor riesgo, que son realizadas en instalaciones separadas especialmente diseñadas, es donde los propelentes y cualquier componente pirotécnico son cargados. Por tanto es necesario disponer como condición de mínima de una planta de ensamblado, una sección de seguridad, y una planta de combustible que se vincule a ella funcionalmente, ubicada a una distancia segura calculada empleando el mismo método usado en el complejo de lanzamiento.

El centro espacial debe contar con las instalaciones y equipos necesarios para producir o recibir, almacenar, manipular, y transferir los combustibles necesarios para el funcionamiento del lanzador y de la carga útil. Las cantidades y procesos son dependientes de la planificación de las operaciones y de los lanzadores a integrar.

COMPLEJO DE LANZAMIENTO

El complejo de lanzamiento es el conjunto de instalaciones en el que las preparaciones finales y el lanzamiento son llevados a cabo. Las instalaciones que se pueden encontrar dentro del complejo son:

- estructuras de servicio que permitan el acceso al vehículo,
- el mástil de conexiones umbilicales, que conecta al vehículo con los sistemas de soporte en tierra,
- el sistema de almacenamiento y carga de propelentes, el anclaje que sujeta al vehículo en posición,
- el pedestal,
- el sistema de supresión de sonido,

-los sistemas de protección de plataforma de los gases de escape de los motores.

En el complejo de lanzamiento debe incluir plataformas desplegables para permitir el acceso a las diferentes etapas del lanzador y a la carga útil, espacios con ambiente y limpieza controlados para trabajos sobre la carga útil, espacios para el almacenamiento de herramientas y equipos, condiciones de seguridad colectiva para el trabajo en altura, y vías de egreso de emergencia.

Para un vehículo de diseño como el propuesto, estas instalaciones pueden tener una altura estimada a partir del estudio de casos de 50 m y una superficie en planta de 700 m².

Mitigación de ruido y de gases de escape

Es necesario el uso de deflectores para desviar los gases de escape y evitar su impacto en el centro de lanzamiento. Pueden dividirse en dos categorías: enfriados y no enfriados. Los enfriados aplican generalmente las técnicas: sumersión del deflector en agua, inyección de agua en el flujo de gases de escape, aplicación de una película de agua que recubra al deflector.

El encendido de los motores genera niveles de intensidad sonora que pueden provocar la destrucción del lanzador o su entorno cercano. Es por esta razón que la mitigación de ruido se encuentra caracterizada como un factor de primer nivel. Típicamente, para amortiguar las ondas sonoras a niveles aceptables, dos métodos son empleados: amortiguación del sonido con agua, y reflexión de las ondas sonoras, como menciona *Lubert* [7].

Una vez que el lanzador está en el aire y se eleva por encima de la plataforma, los gases de escape de los motores producen efectos que impactan negativamente sobre la plataforma de lanzamiento y los equipos e infraestructura asociados. Dado el rango de velocidades y temperaturas a las que se encuentran, las instalaciones y equipos del complejo que se vean expuestos deben contar las protecciones que permitan su posterior reparación y uso. El reemplazo total de equipos, estructuras e instalaciones del complejo implican costos y plazos de una magnitud de primer orden.

Tres métodos para proteger la plataforma y sus componentes resaltan: retracción, protección, y amortiguamiento y enfriamiento.

A medida que el vehículo es alistado y el momento del despegue se acerca, ciertos umbilicales comienzan a ser retraídos, tanto para despejar el espacio alrededor del vehículo como para protegerlos de los gases de escape una vez que comienza el ascenso.

Al momento de la ignición de los motores, solo los soportes del vehículo y los umbilicales indispensables permanecen conectados.

Una vez que las computadoras del vehículo confirman que todos los motores funcionan correctamente, las últimas conexiones umbilicales son desconectadas y retraídas. Al mismo tiempo, los soportes en la plataforma liberan al vehículo, que comienza su ascenso. El método más utilizado para proteger a estos soportes, los cuales también pueden contener conexiones de combustible y eléctricas, es por contrapesos. Una vez que la conexión es cortada, los contrapesos retraen los equipamientos detrás de una barrera protectora, la cual se deja caer por su propio peso y cubre la

abertura por donde se retrajeron las conexiones, protegiéndolas de los gases de escape de los motores.

Adicionalmente se utiliza como método de protección cubrir la plataforma con agua para protegerla del calor de los gases de escape.

VÍAS DE ACCESO

Es necesario dotar al centro espacial de una cantidad de accesos suficiente en capacidad y en condiciones de seguridad que permitan realizar el intercambio de:

- cargas útiles,
- pasajeros y personal,
- componentes de lanzadores espaciales,
- personal de centro espacial,
- equipos de soporte.

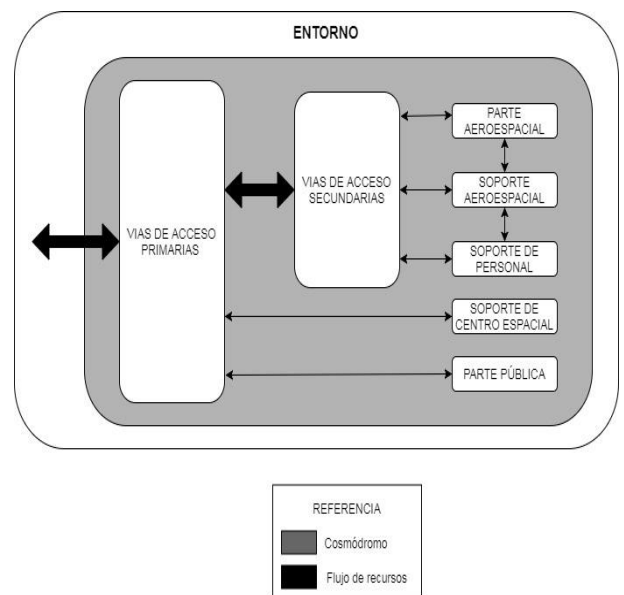


Fig. 3. Flujo de recursos entre las diferentes partes de un centro espacial y entre el centro espacial y su entorno

Este intercambio se produce por diversos medios de transporte. La diversidad de las cargas y sus requerimientos implica la disponibilidad en el interior de la planta una infraestructura vial/ferroviario de gran porte, que esté asociado a centros de transferencia que sean alimentados del exterior del centro. Estos medios de transporte exterior necesitan incluir transporte ferroviario, aéreo, y fluvial o marítimo. Este último destinado en general al transporte de materiales de gran porte. Por lo tanto será necesario disponer de un centro ferroviario, un aeropuerto y un puerto asociados, que permitan el uso público y el dedicado.

USO DEL SUELO

Es posible estructurar disposiciones y dimensiones generales en el uso del suelo para la instalación de un centro de lanzamiento bajo las hipótesis de diseño planteadas.

Por un lado, la asociación del centro a otros sistemas de transporte, supone una interacción de gran magnitud entre servidumbres que permite establecer algunas dimensiones generales.

Tomamos el caso de un aeropuerto de configuración típica de FAA 1505060-5, en donde se presenta una pista y una

calle de rodaje paralela que tiene asociado una plataforma, la cual a su vez se vincula con una terminal pública. Si este sistema se asocia a un sistema de lanzamiento, entonces las superficies limitadoras de obstáculos del aeropuerto no permiten que este, que tiene una altura estimada de 50 metros, pueda localizarse a menos de 4 km del eje de pista.

Por otro lado la emisión de ruido necesita un despeje de seguridad de 500 metros de diámetro centrado en el punto de lanzamiento donde estimativamente se tienen intensidades sonoras mayores a 100 dbA. Otra superficie de seguridad que se puede establecer es una superficie de 500 metros de diámetro adicional donde el ruido es mayor a 60 dbA.

Al respecto del edificio de integración, las distancias de seguridad determinadas a partir de considerar la carga de combustible como un explosivo, siguiendo lo planteado por la *Chemical Propulsion Information Agency* [8], es de 540 metros como mínimo. Esta distancia también deberá ser respetada por todos los conjuntos edilicios que compongan los procesos previos al lanzamiento que estén habitados.

Estas restricciones mayores implican la posibilidad de disponer de un área de intercambio de modos de transporte y de carga entre el eje de pista del aeropuerto y el punto de lanzamiento, que oficie de núcleo organizador que también vincule al puerto y a la conexión carretera.

La disposición de mínima distancia estimada configurable con los condicionamientos establecidos implican un predio de 5000 metros de longitud, con un mínimo de 600 hectáreas disponibles para el establecimiento del centro espacial.

CONCLUSIONES

En el presente trabajo se describieron conceptualmente los principales condicionantes de la configuración del centro espacial, analizando diversos centros espaciales en operación alrededor del mundo, que muestra especificidad para el caso Argentino. Estas descripciones generales resultan suficientes para establecer parámetros de grandes órdenes del centro espacial, tal que permitan restringir las variantes de localización y disposición. La consecución del proceso supone el desarrollo de las dimensiones funcionales descriptas hasta una definición de anteproyecto, que se interrelacionan en la formulación de un Plan Maestro de Centro Espacial. Este plan debe contener la totalidad de aspectos de planificación en la evolución del centro, incluyendo el impacto en el medio ambiental y social.

Los requerimientos logísticos que impone la actividad espacial son compatibles con los disponibles en los aeropuertos. Esta infraestructura de transporte muestra una gran complementariedad funcional con los centros espaciales, que determina impactos sociales positivos y economía de medios. En este mismo sentido la mencionada complementariedad puede officar de vector del desarrollo de zonas urbanas y productivas.

Conociendo las operaciones en una campaña de lanzamiento, y a partir de la definición de: seguridad operacional, función a cumplir, relaciones con el entorno, e impacto ambiental, es posible determinar factores que guíen la planificación de un centro espacial Argentino, de manera de minimizar los pasivos que genere, producir una utilización mínima de medios, y servir a los impactos positivos sobre el entorno. Entre estos se incluyen usos complementarios y alternativos del uso del dominio del

centro espacial y la captura de valor asociada a las actividades económicas que promueve.

REFERENCIAS

- [1] Adams, C., & Petrov, G. (2006). Spaceport Master Planning: Principles and Precedents. In Space 2006 (p. 7325).
- [2] Ellegood, E., & Eleazer, W. (2014). Challenges For A South Texas Spaceport.
- [3] Gonzales, E., & Murray, D. (2010, January). FAA's Approaches to Ground and NAS Separation Distances for Commercial Rocket Launches. In 48th AIAA Aerospace Sciences Meeting Including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition (p. 1540).
- [4] AirLine Pilots Association (2018). Addressing the Challenges to Aviation from Evolving Space Transportation.
- [5] Abela, A., Berg, E., Fillmore, L., Kaisersatt, S., Lebow, C., Nieto, M. P., & Thompson, V. (2011). Final Environmental Assessment: Falcon 9 and Falcon 9 Heavy Launch Vehicle Programs from Space Launch Complex 4 East at Vandenberg Air Force Base, California. MANTECH SRS TECHNOLOGIES INC LOMPOC CA.
- [6] Finger, G., Gulliver, B., & Keller, D. (2009, September). Design Factors of Operationally Responsive Launch Sites. In AIAA SPACE 2009 Conference & Exposition (p. 6413).
- [7] Lubert, C. P. (2017, December). Sixty years of launch vehicle acoustics. In Proceedings of Meetings on Acoustics 174ASA (Vol. 31, No. 1, p. 040004). ASA.
- [8] Chemical Propulsion Information Agency. (1971, October). Chemical Rocket/Propellant Hazards. AD889763.