

IMPACTO DE LA SIMULACIÓN DE AMBIENTE ESPACIAL EN FUTUROS SATÉLITES ENSAMBLADOS EN VENEZUELA.

Carla Thais Rodríguez Machine
e-mail: ctrodriguez@gmail.com

RESUMEN: Venezuela participa en la tecnología espacial a través de dos dispositivos que permiten, desde el espacio ultraterrestre, el acceso a servicios de telecomunicación y a la captura de imágenes de alta resolución. Luego de una década de experiencias, Venezuela continúa su evolución hacia el ensamblaje, integración y prueba de satélites, por y para venezolanos. El paso clave en el proceso de disminución de riesgos y realce de la confiabilidad de los productos espaciales finales radica en simular el ambiente espacial debido a que permite acotar, separar y reproducir de manera confiable las variables presentes una situación espacial real. La incursión de Venezuela en esta tecnología permite desarrollar las capacidades científico-tecnológicas vinculadas a las necesidades del pueblo venezolano. Con esto, se alcanzan los objetivos pertinentes del Plan de la Patria: 2013-2019 y posiciona a Venezuela como protagonista en la tecnología espacial y el uso pacífico del espacio ultraterrestre a nivel internacional.

PALABRAS CLAVE: Ensamblaje, satélite, simulación, vacío.

1 INTRODUCCIÓN

Los filósofos griegos asumían que el mundo estaba hecho de pequeñas e indivisibles partículas llamadas átomos y a su vez, Demócrito asumía que entre átomos, existía un espacio vacío a través del cual, se movían de acuerdo a las leyes generales de la mecánica. Por ende, variaciones en la forma, orientación y arreglo de los átomos causarían como consecuencia variaciones en los objetos macroscópicos. Según esta filosofía, Demócrito y su profesor Leucippus se pueden considerar como los padres del concepto de vacío. Caso contrario el de Aristóteles y muchos otros filósofos de la época, quienes rechazaron la existencia de un espacio vacío. Según Aristóteles, “donde no hay nada, el espacio no puede ser definido”. Debido a la controversia, esta idea no tuvo auge hasta el siglo XVI.

En pleno siglo XXI, se conoce con certeza que el vacío existe y la prueba fehaciente de ello es el espacio ultraterrestre. Fuera de la atmósfera de nuestro planeta, La Tierra, contamos con condiciones meteorológicas distintas a la de la superficie. En un ambiente espacial determinamos variables importantes como por ejemplo, la temperatura ambiental y superficial, la presión, la composición de los gases y la radiación. El elemento diferenciador de un ambiente espacial a un ambiente terrestre es la presión ambiental la cual no debe confundirse con “ausencia de presión” [1].

Los efectos del ambiente espacial natural en el diseño, desarrollo y operaciones de una nave espacial, tienen una importante influencia en el éxito de una misión espacial. El ambiente espacial natural, es independiente de la presencia de una nave espacial. Dicho ambiente, ejerce efectos espaciales tales como el vacío, ciclos térmicos, plasma, oxígeno atómico (AO, por sus siglas en inglés), radiación solar electromagnética, debris orbital, meteoroides, Albedo, campos magnéticos, radiación ionizante, entre otros. En tierra, la ingeniería de vacío ya brinda la oportunidad de producir un ambiente espacial artificial y simular los efectos espaciales.

En la actualidad, Venezuela se une a la tecnología espacial a través de dos dispositivos que desde el espacio ultraterrestre, permiten el acceso a los servicios de telecomunicaciones, gracias al satélite Simón Bolívar, y que unifica el uso pacífico del espacio con el satélite Miranda, un innovador astro capaz de capturar imágenes de alta resolución para garantizar una mejor planificación del territorio nacional. Sin embargo, esos fueron solo los primeros pasos del impulso hacia la independencia tecnológica, pues Venezuela se plantea nuevos proyectos en ensamblaje, integración y pruebas de satélites con la presencia y participación protagónica de talento venezolano. Adjunto a esto, se consideran los riesgos a los cuales son sometidos los productos espaciales desde su manufactura, hasta su puesta en órbita. A fin de reducir la mayor cantidad del riesgo latente, es necesario llevar a cabo mediciones, mediante las pruebas de simulación de ambiente espacial ya que, exponen las desventajas y las fallas escondidas y existentes en el satélite para poder solucionarlas y asegurar que el producto espacial final funcionará eficientemente en el órbita.

2 TRAYECTORIA DE VENEZUELA EN MATERIA AEROESPACIAL

Venezuela inicia su historia en materia aeroespacial a partir del año 1999 cuando se comienzan a delinear un conjunto de acciones concretas en el país. Como primer paso, se incorpora en la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela el artículo 11, el cual establece los derechos de la República sobre el espacio ultraterrestre y en consecuencia, por primera vez en una Constitución venezolana se habla sobre este tema. Posteriormente, se crea el Ministerio de Ciencia y Tecnología y al mismo tiempo se dan las primeras misiones presidenciales a India, China, Rusia, Francia, Argentina y Brasil, con el objeto de hacer el mapa de quienes serían los posibles socios estratégicos. Con la creación de la Comisión Interministerial para el Uso

Pacífico del Espacio, en la que participaron los Ministerios de Ambiente; Energía y Petróleo; Ciencia y Tecnología; CONATEL; Infraestructura y Planificación, entre otros, surgen las primeras ideas sobre el rumbo que se debía tomar.

En 2005, se eleva la Comisión Interministerial a un plano presidencial, y así nace la Comisión Presidencial para el Uso Pacífico del Espacio Ultraterrestre, la cual tenía como tarea asesorar al Ejecutivo en su plan de acción en materia espacial, por lo que comienza a definirse el programa VENESAT-1, lo que hoy en día se conoce como el Satélite Simón Bolívar. La Cancillería venezolana, por su parte, jugó un rol importante para establecer los acuerdos de cooperación con China e India. Se identificaron dos áreas de desarrollo: las telecomunicaciones y la observación de la tierra, es decir, el uso e interpretación de imágenes satelitales. Es así, como se crea el Centro Espacial Venezolano, y por primera vez se cuenta con una institución especializada en materia espacial. En paralelo, comienza a conceptualizarse la primera fase del VENESAT-1, además de otras áreas de investigación.

En 2008, se da el hecho más importante y emblemático como lo es el lanzamiento del satélite y la creación de la institucionalidad nacional que se encargaría de dirigir las acciones en materia espacial como lo es la AGENCIA BOLIVARIANA PARA ACTIVIDADES ESPACIALES, ABAE [2].

La ABAE es una institución autónoma de carácter técnico, dotada de personalidad jurídica y adscrita al MPPCTI. Tiene entre sus responsabilidades coordinar los programas espaciales manejados bajo la tutela del Ejecutivo Nacional. Entre sus aportes y nuevos compromisos, la ABAE fue responsable de supervisar la construcción y lanzamiento del primer satélite venezolano de percepción remota (VRSS-1 por sus siglas en inglés), conocido como Satélite Miranda, nuevamente, en cooperación con la República Popular China [3].

3 SIMULACIÓN DE AMBIENTE ESPACIAL

La simulación permite acotar y separar de forma controlada las variables relevantes de un sistema aislado. Al reproducir de manera confiable una situación real, se pueden resolver los problemas haciendo uso de la información que se obtiene sobre su funcionamiento en condiciones específicas. De este modo, se van creando parámetros o esquemas de comportamiento que son fácilmente reproducibles, si se respetan todas las variables iniciales. Al realizar la simulación del ambiente espacial en Tierra uno de los factores limitantes son las dimensiones de la cámara de vacío ya que determinan los límites de los diferentes gradientes de presión y temperatura así como los niveles de radiación en función de la altura de la superficie. El volumen interno de la cámara así como la superficie

interna limitan la transferencia de energía y por tanto atentan contra la homogeneidad del sistema.

Atmosféricamente, la Tierra contiene constituyentes neutros atmosféricos a 90 km de altitud. A ese nivel se le llama termósfera neutra. A 100 km de altitud, la presión atmosférica ambiental es de aproximadamente seis órdenes de magnitud menos que la que se encuentra al nivel del mar. Incluso, antes de que la nave espacial se separe del vehículo de lanzamiento, la presión circundante decae a niveles de vacío, fundamentando la consideración de que comparado con la superficie de la Tierra, el espacio es vacío. La región por encima de los 600 km, conocida como termósfera, se compone de partículas de gas neutral que tiende a estratificarse basado en su peso molecular. El oxígeno atómico es el constituyente dominante de la termósfera baja con helio e hidrógeno prevaleciendo en esas regiones. La temperatura en esas regiones aumenta bruscamente y, al igual que la densidad y la composición, es muy sensible a los ciclos solares debido al calentamiento por absorción de la radiación ultravioleta extrema del sol. Por otra parte, la densidad del gas neutral es una de las principales propiedades atmosféricas que afectan la altitud, órbita, el tiempo de vida y el movimiento del satélite. Muchos materiales usados en la superficie del satélite son susceptibles a los ataques de AO en las regiones de órbita baja (región de la termósfera).

Hay cinco consideraciones a tomar en cuenta al diseñar, manufacturar, ensamblar y lanzar a un ambiente vacío una nave espacial: La primera es que si la nave espacial va a ser tripulada, debe contener en su parte interna una atmósfera para respirar con una diferencia de presión relevante entre el interior y el exterior de la misma. Esta consideración será obviada para los fines de este documento, pues no se tiene en planes todavía en Venezuela el ensamblaje, integración y prueba de naves espaciales tripuladas. La segunda corresponde a que la transferencia de energía térmica de la nave solo se hará mediante conducción o radiación, la convección queda fuera de posibilidades. La tercera se relaciona con la ocurrencia de descargas electrostáticas en la superficie del satélite debido al decremento de la presión atmosférica entre superficies. La cuarta, al decrecer la presión, la fricción entre las partes móviles se incrementa. Por último, al exponerse a muy bajas presiones, muchos de los materiales evidenciarán una pérdida de masa a través del proceso conocido como outgassing. Los químicos utilizados en su fabricación que sean volátiles pueden escapar de la superficie hacia la atmósfera circundante o pueden convertirse en una película contaminante adherida a equipos ópticos, paneles solares, entre otros.

El sistema de simulación de ambiente espacial está generalmente compuesto por una cámara para pruebas térmicas, la cual provee presiones menores a la presión ambiental y evita que el elemento de prueba detecte la presencia de las paredes de la cámara usando un recubrimiento negro en los cilindros criogénicos (shrouds) de un área y forma tal que sea capaz de aproximar las temperaturas del ambiente a la del

nitrógeno líquido. El ambiente térmico puede suministrarse utilizando tres métodos:

- Flujo absorbido: simula el albedo, el flujo solar absorbido y la irradiación planetaria usando paneles de heaters o espectros infrarrojos ajustados a las propiedades de recubrimiento térmico externo.
- Flujo incidente: simula la intensidad, el contenido espectral y la distribución de la radiación solar incidente, el albedo y la irradiación planetaria.
- Combinación: se suministra un ambiente térmico mediante una combinación de irradiación absorbida e incidente.

La selección del método, o el grado al cual los métodos son combinados depende de la configuración del artículo de prueba y la geometría, la relación del calor producido internamente y las características térmicas de las superficies externas [4].

3.1 ESTÁNDARES INTERNACIONALES ASOCIADOS A LA SIMULACIÓN DE AMBIENTE ESPACIAL

La Ingeniería aeroespacial ha creado gran controversia a lo largo de la historia en diferentes países y sus experiencias en investigación, diseño, manufactura y pruebas de satélites llenas de aciertos y de oportunidades de mejora han dado pie al establecimiento de normativas y estándares que regulan la actividad espacial en un mismo lenguaje. A continuación, se describen los estándares más reconocidos internacionalmente emitidos por dos participantes activos en la tecnología aeroespacial internacional: Estados Unidos y Europa.

3.1.1 ESTADOS UNIDOS: MIL-STD-1540

Los estándares estadounidenses MIL-STD corresponden a la Defensa de los Estados Unidos en los cuales, reflejan sus experiencias en manufactura, ensamblaje, integración y prueba de satélites. En su sección 1540 se discuten los parámetros para ejecutar pruebas ambientales, fue publicado por primera vez el 15 de Mayo de 1974 y establece los requerimientos de prueba para vehículos espaciales. Mediante experiencias posteriores, se amplió el rango de aplicación y la edición original fue sometida a modificaciones. La primera de ellas, originó el estándar MIL-STD-1540B [4], publicado el 10 de Octubre de 1982 que definía con mayor detalle las especificaciones ambientales y condiciones de tolerancia máxima para las mismas. Las primeras dos versiones del 1540 fueron expandidas hacia el MIL-STD-1540C [5] y MIL-STD-1540D [6] añadiendo los requerimientos de prueba para el lanzamiento y la etapa superior, publicados en 1994 y 1999, respectivamente.

De manera alterna, se publicó el MIL-HDBK-340 [7], (la versión A, junto a tres notificaciones) el 01 de Julio de 1985 como una guía de aplicaciones para los requerimientos de prueba en vehículos espaciales del MIL-STD-1540B. Similarmente, las notificaciones y actualizaciones se hicieron para incluir los vehículos de lanzamiento y de etapa superior. El MIL-HDBK-340 provee información adicional incluida solo en aquellos requerimientos de prueba que requieren mayor información y explicaciones amplias para ser llevados a cabo. Su propósito fue hacer una formulación y revisión detallada de los requerimientos para programas espaciales o contratos específicos.

3.1.2 EUROPA: ECSS

Los estándares ECSS surgen de un esfuerzo de cooperación entre la Agencia Espacial Europea, las agencias espaciales nacionales europeas y las asociaciones de las industrias europeas para desarrollar y mantener estándares de diseño, ensamblaje y pruebas comunes.

Aplicado a la simulación de ambiente espacial, se relacionan varios estándares de la ECSS. Uno de ellos es el ECSS-E-10-03A Space Engineering: Testing [8], el cual, fue publicado por primera vez el 15 de Febrero de 2002, y toma en cuenta la familia de documentos ISO 9000 existentes. Provee un estándar ambiental y requerimientos de prueba para un sistema espacial y sus constituyentes. También, define los requerimientos de prueba para productos y sistemas que son generalmente aplicables a todos los proyectos junto con la documentación asociada a los mismos.

El ECSS-E-10-04A Space Engineering: Space Environment [9], establecido el 21 de Enero del 2000, aplica a todos los tipos de productos que existen u orbitan en el espacio y define el ambiente natural para todos los rangos espaciales. También, define de manera general los modelos y las reglas para determinar el ambiente local inducido. Como se expresó anteriormente, el ambiente espacial natural de un ítem dado, es un conjunto de condiciones ambientales definidas por el mundo físico externo de una misión en específico (por ejemplo: atmósfera, meteoroides y radiación de partículas energéticas) mientras que el espacio ambiental inducido es el conjunto de condiciones creadas o modificadas por la presencia u operación del ítem y su misión (por ejemplo: contaminación, radiaciones secundarias y cargas de la nave espacial). Por último, el ambiente espacial contiene adicionalmente, elementos inducidos por una ejecución de otras actividades espaciales (por ejemplo: debris y contaminación).

El ECSS-E-ST-31 Space Engineering: Thermal Control Requirements [10], fue establecido el 15 de Noviembre del 2008 para definir los requerimientos de la ingeniería térmica para el análisis, diseño, manufactura, verificación y operación en servicio de los subsistemas de control térmico del satélite y otros productos espaciales. Este estándar divide en tres grandes rangos

la escala de temperaturas: el rango de temperatura criogénica, el rango de temperatura convencional y el rango de alta temperatura.

A pesar de que los requerimientos de este estándar pueden ser aplicables a la escala completa de temperatura, los requerimientos están establecidos para ser usados solamente para los rangos criogénicos y de altas temperaturas. Este estándar es aplicable a todo el hardware de vuelo de los proyectos espaciales, incluyendo la nave espacial y los lanzadores.

3.2 INSTALACIONES

En general, las instalaciones de un simulador de ambiente espacial están compuestas principalmente por una cámara de vacío, la cual contiene fuentes para la exposición de materiales y componentes espaciales al oxígeno atómico (AO), radiación ultravioleta en vacío (VUV) y radiación ultravioleta cercana (NUV) para las pruebas de durabilidad de los materiales y los estudios de erosión de los materiales para órbitas bajas y otros destinos del espacio en misiones específicas. A continuación, se describe brevemente las instalaciones más comunes utilizadas en simuladores de ambiente espacial.

- Cámara de vacío: están diseñadas para pruebas de naves espaciales de órbita baja, tripuladas, no tripuladas, entre muchas otras, (dependiendo de cuál sea el objetivo de la misión) y recrea dentro de sí una aproximación del ambiente espacial real al cual será sometida la nave. El material comúnmente utilizado para su construcción es aluminio e incorpora penetraciones para la ubicación de la instrumentación y las conexiones eléctricas a lo largo de su perímetro. Adicionalmente, la cámara utiliza un vehículo de soporte que se transporta a través de un riel instalado en el piso del Shroud para transportar el hardware o los artículos de prueba a través de las instalaciones y la cámara. Todas las instalaciones se encuentran dentro de un área de trabajo con clase 100.000 de limpieza. En la figura 1, se muestra como ejemplo la cámara de vacío del James Webb Space Telescope [11], la cual es actualmente la cámara más grande en el mundo, y reproduce el ambiente extremadamente frío al que será expuesto el telescopio al entrar en su órbita a un millón y medio de kilómetros de la Tierra.
- Sistema de bombeo de vacío: las instalaciones del simulador de ambiente espacial cuentan con un sistema de bombeo de vacío compuesto por bombas de vacío rústico, bombas de vacío medio y bombas criogénicas para alcanzar presiones respectivas a niveles de alto vacío. El sistema de bombeo se encarga de proveer un ambiente limpio y libre de aceite para las instalaciones.



Figura 1. Cámara de vacío del James Webb Space Telescope [11].

- Shroud: Las instalaciones utilizan un shroud removible y reconfigurable el cual, posee calefacción y refrigeración de fondo. El shroud es calentado y enfriado usando un sistema de recirculación de nitrógeno gaseoso y líquido, respectivamente. El sistema utiliza un compresor de calor para generar las altas temperaturas de las paredes y un intercambiador de calor para disminuir las temperaturas de las mismas. El shroud es el encargado de simular el espacio frío y negro (por las condiciones de temperaturas criogénicas y la radiación de fondo). En la figura 2, se muestra un shroud utilizado en las instalaciones de la NASA.

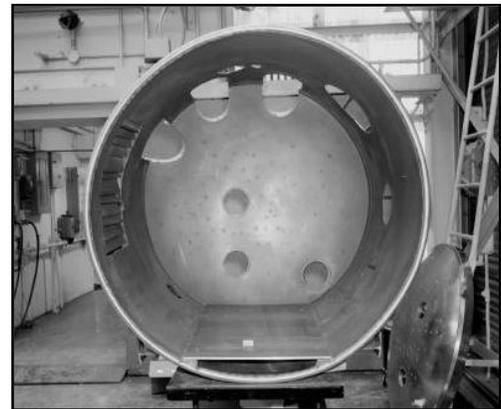


Figura 2. Shroud criogénico perteneciente a la NASA [12].

- Sistema de nitrógeno: provee nitrógeno líquido para el descenso de las temperaturas y el nitrógeno gaseoso para el calentamiento del Shroud y recuperación del sistema hasta temperatura ambiente.

- Sistema de medición y control: este sistema se encarga de controlar todo el equipamiento y medir la temperatura en los lugares que se determinen para el satélite
- Sistema de adquisición de datos: la cámara de vacío posee canales de alta velocidad que le permiten al sistema digital obtener información en tiempo real de los parámetros medidos dentro de ella relacionados a la presión y temperatura del satélite y del shroud.

3.3 PRECISIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN DE PRUEBA

La precisión de los instrumentos utilizados para controlar o monitorear los parámetros de prueba debe ser verificada periódicamente y deben ser compatibles con los objetivos de prueba. Además, la precisión de los instrumentos debe ser consistente con la tolerancia de la variable a ser medida y debe ser al menor un tercio de la tolerancia de sí mismo.

Es de suma importancia que toda la instrumentación que se utilice se someta a procedimientos de calibración y deben realizarse dentro de los periodos correspondientes de calibración normal, previa al inicio de una prueba [8]. En la tabla 1, se muestra un ejemplo con las tolerancias máximas de prueba permitidas para la presión dentro de la cámara de vacío.

Tabla 1. Tolerancias máximas de prueba permitidas dentro de la cámara de vacío.

Parámetro de prueba		Tolerancia EE.UU [4]	Tolerancia Europa [9]
Presión en la cámara de vacío	> 1.3 x 10 ² Pa	±10%	±15%
	1.3 x 10 ⁻¹ Pa ~ 1.3 x 10 ² Pa	±25%	±30%
	< 1.3 x 10 ⁻¹ Pa	±80%	±80%

3.4 PRUEBAS TÉRMICAS EN VACÍO

Las pruebas térmicas en un ambiente de vacío son la principal herramienta que se utiliza para ejecutar la simulación de un ambiente espacial. La prueba de balance y de vacío térmico han sido estandarizadas por cada país a las medidas de sus necesidades y experiencias. Como prueba ambiental se define a la simulación de varias restricciones (juntas o separadas) a los cuales un objeto es sometido durante su ciclo de vida operacional [8]. Estas pruebas verifican el funcionamiento del satélite en un espacio simulado con temperaturas extremas más allá de las cuales se espera que el satélite experimente en órbita. El propósito fundamental de las pruebas térmicas es comprender el comportamiento del satélite a través de extremos ambientales y por ende, incrementar el aseguramiento de la misión.

Las pruebas de vacío térmico demuestran cinco escenarios de operación de misión:

- Pre-lanzamiento.
- Secuencias de ascenso.
- Operaciones de misión normal (lado primario y redundancias).
- Modo seguro incluyendo los elementos adjuntos (simulado). Los elementos adjuntos son los paneles solares, antenas de alta ganancia, entre otros. Este modo representa la configuración del satélite durante el lanzamiento y la transferencia de órbita.
- Modo seguro con los elementos adjuntos desplegados. Este modo representa la configuración del satélite en órbita.

Un programa de pruebas térmicas para el hardware de un vehículo espacial incluye el desarrollo, calificación, aceptación y una validación de pre-lanzamiento. Los métodos de prueba, las condiciones ambientales y los parámetros a medir deben ser seleccionados adecuadamente para permitir recolectar de manera empírica los parámetros de diseño y correlacionar los datos del programa de prueba. Se considera que un programa de prueba es satisfactorio cuando se alcanzan los objetivos específicos prioritarios de prueba que en lo sucesivo, complementarán a otros en el siguiente nivel. El diseño debe ser idóneamente demostrado en el período de desarrollo previo a las pruebas formales de calificación y éstas a su vez, deben ser finalizadas antes de la fase de aceptación y validación de pre-lanzamiento del satélite.

3.4.1 PRUEBA DE BALANCE TÉRMICO

Los europeos y los estadounidenses coinciden en que el propósito de las pruebas de balance térmico radica en demostrar la habilidad del sistema de control térmico de mantener las temperaturas dentro de los límites de temperatura operacionales establecidos en el satélite, verificar que el subsistema funciona correctamente bajo el vacío y las condiciones térmicas esperadas a ser encontradas durante la misión y validar el modelo térmico analítico térmico del mismo [4], [8].

Esta prueba debe ser conducida a través de un amplio rango de estaciones, ángulos solares, combinaciones de eclipses así como incluir el peor caso de máxima y mínima temperatura extrema para todos los componentes del vehículo espacial. Se dedica especial interés en definir las condiciones de prueba esperadas para producir la temperatura máxima y mínima de la batería. Los requerimientos de energía de los heaters termostáticamente controlados deben ser verificados durante la prueba.

El artículo de prueba se ubica en una cámara de vacío térmico capaz de simular el ambiente de vacío y

temperatura esperado durante la misión. Adicionalmente, el artículo de prueba debe estar instrumentado con equipos de medición de temperatura (en componentes críticos) y en los nodos térmicos claves del modelo analítico térmico. Las condiciones de prueba y la duración para esta prueba depende en el perfil de la misión y en los detalles de validación del modelo analítico térmico.

Los criterios para declarar satisfactoria una prueba de balance térmico son [8]:

- Una demostración de operación satisfactoria del vehículo espacial dentro de los límites de temperatura especificados.
- Un grado satisfactorio de correlación entre las mediciones de temperatura y las predicciones del modelo térmico.

3.4.2 PRUEBA DE VACÍO TÉRMICO

Los europeos y los estadounidenses coinciden en que el propósito de las pruebas de vacío térmico radican en demostrar la habilidad de los equipos y del vehículo espacial a prueba de cumplir todos los requerimientos de funcionamiento sobre los rangos de temperatura de calificación del satélite y detectar defectos en el material y en la mano de obra al someter a la muestra a un ambiente de vacío térmico [4], [8].

En la figura 3, se presentan las características básicas de un perfil de prueba térmica. Cada ciclo de la prueba de vacío térmico tiene las siguientes características generales:

- Regiones de transición entre las temperaturas finales acordadas. Corresponde a las regiones B, D, F, H.
- Regiones “plateau” donde deben ser ejecutadas las pruebas. Corresponde a las regiones A, C, E, G, I.
- Todos los ciclos de vacío térmico comienzan y terminan a temperatura ambiente. Corresponde a las regiones A, I.

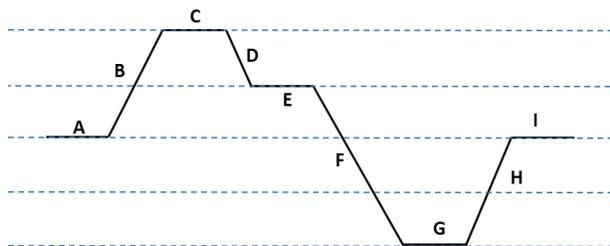


Figura 3. Perfil de las características de las pruebas de vacío térmico.

4 GERENCIA DE RIESGOS EN EL ENSAMBLAJE Y PRUEBA DE SATÉLITES

Los programas y proyectos espaciales se manejan a través de un proceso de toma de decisiones, sistemático y organizado que eficientemente identifica, analiza, plantea, rastrea, controla, comunica y documenta los riesgos con la finalidad de alcanzar las metas del programa y del proyecto. Tomando como referencia la Gerencia Continua de Riesgos [13] (CRM por sus siglas en inglés) de la NASA, se identifican varias fases críticas durante todo el proceso.

- Identificación de riesgo: un riesgo es cualquier situación que atente contra el éxito de la misión espacial, incluyendo seguridad, costos, cronogramas y riesgos técnicos. Cada riesgo es enumerado con una condición y una consecuencia. Es esencial que la condición y la consecuencia sean identificados para cada riesgo así se tendrá información cuando haya la oportunidad de mejorar el nivel de riesgo.
- Análisis del riesgo: cada riesgo es evaluado y categorizado para contar con un orden de prioridades en los riesgos establecidos. Esta priorización es fundamental para asegurar que los elementos de mayor riesgo sean atendidos con urgencia y los de menor riesgo en su momento adecuado.
- Planificación del riesgo: un plan de acción debe decidirse para cada riesgo. Se toman en cuenta cuatro vertientes para esta planificación: Mitigar o eliminar la condición o disminuir la consecuencia, investigar mayor información que asesore la condición o la consecuencia, monitorear el riesgo de determinar si una condición o consecuencia en específico ocurrirá y aceptar, en caso de que no se pueda hacer ninguna acción adicional para mitigar el riesgo o para prescindir de la consecuencia.
- Rastreo de riesgo: todas las acciones durante la fase de planificación deben ser monitoreadas para determinar si la mitigación es, de hecho, alcanzable al resultado anticipado. Para esto, se establecen métricas específicas de la situación para darle sustento al rastreo.
- Control de riesgo: se resumen todas las actividades para reportar el nivel apropiado de gerencia que asegurará una visión real y propia de la situación. En este punto, se toman decisiones replanteadas basadas en resultados no aceptables de los primeros esfuerzos de mitigación y también nuevos riesgos a menudo son identificados y rastreados apropiadamente.
- Comunicación y documentación de riesgos: se debe mantener comunicación abierta entre los

elementos organizacionales, además de una documentación precisa y puntual como conjunto de elementos que asegurarán que los riesgos sean mitigados con éxito.

5 IMPACTO DE LA INCURSIÓN DE VENEZUELA EN LA TECNOLOGÍA DE SIMULACIÓN DE AMBIENTE ESPACIAL

Mediante el protagonismo y la investigación científica se abordan temas complejos y necesarios para alcanzar el dominio intelectual y la independencia tecnológica de Venezuela en materia espacial. Sin embargo, Venezuela había estado limitada solo a la utilización de las tecnologías espaciales.

Un adecuado sistema nacional de gestión científico-tecnológica espacial implica llevar a cabo procesos sistémicos complejos que involucran el uso de conocimientos, tecnologías y técnicas relacionadas con las tareas de creación, desarrollo, transferencia e innovación de productos relacionados con el medio espacial ultraterrestre. En este proceso, Venezuela, ha alcanzado establecer sus instituciones y políticas pertinentes, pero la historia no acaba allí, continúa hacia un compromiso de construir nuevos productos hechos por y para venezolanos [2].

Las pruebas de vacío térmico comprenden el componente para la mitigación de riesgo más importante en la simulación de ambiente espacial para una nave espacial integrada. Es por ello, que Venezuela debe incluir en sus prioridades la ejecución de la simulación de ambiente espacial para la calificación y aceptación de dichos productos.

La incursión de Venezuela en la simulación de ambiente espacial permite desarrollar las capacidades científicas y tecnológicas vinculadas a las necesidades del pueblo venezolano. Con esto, se alcanzan varios objetivos del Plan de la Patria, el segundo plan de desarrollo económico y social de la nación, 2013-2019 [14]. Uno de ellos es el objetivo de consolidar un estilo científico, tecnológico e innovador de carácter transformador, diverso, creativo y dinámico, garante de la independencia y la soberanía económica, contribuyendo así a la construcción del Modelo Productivo Socialista, el fortalecimiento de la Ética Socialista y la satisfacción efectiva de las necesidades del pueblo venezolano. Otro de los objetivos, es el establecer una política satelital del Estado venezolano para colocar la actividad al servicio del desarrollo general de la Nación. La finalidad de la incursión de Venezuela en esta tecnología es la de desarrollar una actividad científica, tecnológica y de innovación, transdisciplinaria con efectiva transferencia de conocimientos para la soberanía tecnológica donde además, se fortalezca el uso pacífico de la tecnología espacial.

Dar los primeros pasos en la simulación de ambiente espacial tiene un impacto económico en la inversión de proyectos espaciales ya que, por lo general,

se invierte aproximadamente el 70% de los costos en el establecimiento de instalaciones, materiales y consumibles para la simulación del ambiente; esto implica una fuerte inversión de dinero por parte del Estado. Sin embargo, si no se realiza esa inversión y se omiten las pruebas térmicas en vacío, un abanico de riesgos se deja desplegado y el resultado puede ser la pérdida del producto por completo, una misión espacial fallida y una inversión económica no fructífera.

En el campo industrial, se producirá un estímulo de producción de piezas nacionales que a su vez motivarán la competitividad y alta calidad industrial para sean incluidas en el modelo final del satélite. En paralelo, eso generará nuevas fuentes de empleos para los venezolanos.

Finalmente, la formación de talento venezolano en el área de simulación de ambiente espacial sienta un precedente nunca antes visto ni estudiado en el país y permite la apertura de nuevas líneas de investigación científica. Impulsa, sin duda alguna, la masificación de la tecnología espacial a través de procesos de formación que permita colocarla accesible al pueblo.

6 REFERENCIAS

- [1] J. Sobrado, *Tribología en ambiente extremo* [En línea]. S/F. Disponible en: http://www.uhv.es/sites/txus/sobrado/includes/doc/Tribologia_en_ambientes_extremos.pdf.
- [2] C. Bracho, A. Ortega, "Tecnología espacial y su utilización en el desarrollo de las naciones: propuesta para el caso venezolano," *Multiciencias*, vol.11, ISSN 1317-2255, pp. 92-99, 2011.
- [3] R. Becerra, "Antecedentes, inicios y hechos notables," en *Ciencia y Tecnología Espacial para el Desarrollo Integral de Venezuela*. Ed. Instituto Municipal de publicaciones: Caracas, Venezuela, , 2013, pp. 29-61.
- [4] *Requirements for Space Vehicles*, Estándar MIL-STD-1540B, 1982.
- [5] *Test Requirements for Launch, Upper Stage and Space Vehicles*, Estándar MIL-STD-1540C, 1994.
- [6] *Test Requirements for Launch, Upper Stage and Space Vehicles*, Estándar MIL-STD-1540C, 1999.
- [7] *Application Guidelines for MIL-STD-1540B; Test Requirements for Space Vehicles*, Estándar MIL-HDBK-340, 1985.
- [8] *Space Engineering: Testing*, Estándar ECSS-E-10-03A, 2002.
- [9] *Space Engineering: Space Environment*, Estándar ECSS-E-10-04A, 2000.
- [10] *Space Engineering: Thermal Control Requirements*, Estándar ECSS-E-ST-31, 2008.
- [11] *Historic NASA test chamber upgraded for James Webb Space Telescope* [En línea]. S/F. Disponible en: <http://www.collectspace.com/news/news-040513a.html>.
- [12] *Cryoshorud for the environmental chamber at the rocket engine test facilities RETF* [En línea]. 2009. Disponible en: http://www.dvidshub.net/image/859715/cryoshroud-environmental-chamber-rocket-engine-test-facility-retf#.VACc7_nkdv8.
- [13] J. Carek, D. Beach, K. Remp, Managing Risk for Thermal Vacuum Testing of the International Space Station Radiators [En línea]. S/F. Disponible en: <http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20010059377.pdf>.
- [14] N. Maduro, *Plan de la Patria. Segundo Plan Socialista de Desarrollo Económico y Social de la nación, 2013-2019*, 2013.