



Universidad Nacional de Rosario



Centro de Estudios interdisciplinarios

**Especialización en Gestión de la Innovación y la Vinculación
Tecnológica**

TRABAJO INTEGRADOR FINAL

Título:

**Desarrollo y Calificación de Bujía Aeroespacial de Descarga Superficial para
un Motor de Plasma Pulsante**

Autor:

DE ALESSANDRO, Roque Omar

Ingeniero Electricista Electrónico-UNC-FCEFyN

Director:

ESCUDERO, Javier Alejandro

Especialista en Sistemas Embebidos-IUA

Ingeniero Electrónico-UNC-FCEFyN

Febrero de 2024

ÍNDICE

1. Resumen y Abstract	4
2. Introducción	7
3. Presentación de los organismos del CIA, DGID y FAA	11
3.1. Misión, visión y propósito y valores del CIA	16
4. Planteo del problema	18
5. Justificación de la propuesta	20
6. Relevamiento de antecedentes	22
7. Objetivos	24
7.1. Objetivo general	24
7.2. Objetivos específicos técnicos	25
7.3. Objetivos específicos institucionales	26
7.4. Objetivos específicos académicos	26
8. Gestión del Proyecto	28
9. Aspectos teóricos: bujía de uso aeroespacial	32
9.1. Influencia del diámetro de electrodo	33
9.2. Tipos de superficie de descarga	34
9.3. Consideraciones de diseño	34
9.4. Requerimientos eléctricos generales	36
9.5. Requerimientos de diseño	36
9.6. Conjunto Bujía	37
9.7. Planos de fabricación	39
9.8. Circuitos de ignición	40
9.9. Comentarios finales	41

9.10. Conclusiones	41
10. Aspectos metodológicos	43
11. Plan de trabajo	44
11.1. Planificación de tareas	44
11.2. Hitos por etapas	47
11.3. Cronograma	49
11.4. Factores o circunstancias críticas para el desarrollo del proyecto	50
11.4.1. Riesgos tecnológicos	50
11.4.2. Posibles incidencias en el medio ambiente	51
11.5. Plan de transferencia y reserva de propiedad intelectual	52
11.6. Impactos del proyecto	52
10.6.1. Impactos científico-tecnológicos	52
10.6.2. Impactos operativos	53
10.6.3. Impactos socio-económicos	54
11.7. Recursos, infraestructura y equipamiento existentes para el desarrollo del proyecto	55
11.7.1. En la institución beneficiaria del subsidio	55
11.7.2. En otras instituciones participantes	59
11.8. Presupuesto	64
12. Bibliografía	65
13. Anexos	68

1. Resumen

El proyecto tiene por objetivo el desarrollo nacional de Bujías de Descarga Superficial para equipar propulsores de plasma pulsante (llamado P.P.T., por sus siglas en inglés), elemento utilizado en micro y nanosatélites, principalmente para el mantenimiento de órbita y control de actitud. En el Centro de Investigaciones Aplicadas (CIA), que depende de la Dirección General de Investigación y Desarrollo (DGID) de la Fuerza Aérea Argentina (FAA), se ha llevado a cabo el desarrollo de un P.P.T. con la finalidad de ser integrado al satélite de observación uSAT-3.

Un Propulsor de Plasma Pulsante Ablativo emplea una bujía –con capacidad de funcionar en alto vacío¹–, cuya chispa inicia la reacción principal generadora de empuje. En el P4S-1/MPC (acrónimo de Propulsor de Plasma Pulsante de Propelente Sólido, primera versión del Modelo de Precalificación) se hacía uso de una bujía Champion utilizada en el turborreactor ATAR 09C, siendo este del tipo de descarga superficial. La misma consta de dos electrodos concéntricos de acero inoxidable separados por un tubo de material cerámico, el cual posee una capa de semiconductor en el área expuesta, lugar en donde aparece la chispa. Si bien ha probado su utilidad para el modelo de desarrollo y precalificación, esta bujía no es compatible con el diseño del propulsor de plasma pulsante P4S-2/MPC. Las principales razones radican en el volumen y masa excesivos del dispositivo y en su falta de calificación para el uso aeroespacial. Por ello, se comenzó la búsqueda de la bujía de Descarga Superficial en el mercado internacional, cuyo resultado fue la obtención de un proveedor: China Opto-Electro Industries Co., Ltd. Pero debido a la incertidumbre y depreciación económica del dólar (moneda con la que se ajustan los

¹ Obtenido en el “Simulador Espacial Tenney” con valores de 510^{-7} mmHg (cámara limpia, vacía y acondicionada), equivalente a 400 km de altura (para más información, ver Anexo primero).

precios de los componentes electrónicos y mecánicos), no fue posible la compra de bujías de ignición ni de un componente cerámico de ajuste, siendo imposible su adquisición en el mercado nacional por tratarse de un componente de calidad espacial de alta especificidad.

La solución planteada a este dilema es el desarrollo, construcción y puesta en funcionamiento de la bujía aeroespacial, lo que, a su vez, permitirá obtener el propulsor eléctrico, íntegramente fabricado en el país. Dicho esto, esta propuesta es complementaria al proyecto en curso (P4S), y la ejecución y puesta en marcha de ambos proyectos de forma simultánea nos permitirían cumplir ambos objetivos² en tiempo y forma, y dar así respuesta a una demanda real del CIA, además de fomentar el interés por parte de otros grupos de investigadores de acceso a esta tecnología, la posibilidad de generar una suerte de sinergia tecnológica, y la oportunidad de explotarla conjuntamente con otros institutos de investigación y desarrollo.

Palabras clave: bujía aeroespacial; propulsor eléctrico, propulsor plasma pulsante; CIA; Propelente Sólido.

² El objetivo del proyecto P4S es realizar maniobras orbitales con el microsatélite uSAT-3 en el marco del programa PROPELSAT.

Abstract

The aim of this project is the local development of surface discharge spark plugs for electric thrusters, devices meant to give station-keeping and attitude control to small satellites. In the Applied Research Center (CIA) depending on the General Directorate of Research (DGID) and Development of the Argentine Air Force (FAA), the development of a P.P.T., (for its acronym in English) has been carried out to be integrated into the uSAT-3 observation satellite.

The thruster ignition system strongly depends on the integration of an offshore aerospace spark plug -capable of operating in high vacuum-, whose spark initiates the main thrust-generating reaction and is manufactured by China Opto-Electro Industries Co. Ltd, among other international suppliers. The local sparkplug achievement will represent the pulsed plasma thruster development, entirely manufactured in the country. Having said that, this proposal is complementary to the ongoing (P4S) project, and both route maps carried out simultaneously will allow us to accomplish both project objectives in time and form and respond to a real demand from the Applied Research Center (CIA) , in addition to the interest of other groups of researchers in access to this technology, the possibility of generating a kind of technological synergy, and the opportunity to exploit it jointly with other research and development institutes.

Key words: aerospace spark plug, electric thrusters, pulsed plasma thruster, CIA; Solid Propellant.

2. Introducción

En el CIA-DGID se comenzó el desarrollo de un Propulsor de Plasma Pulsante de Propelente Sólido (P4S) mediante subsidios otorgados por la Secretaría de Ciencia y Tecnología del Gobierno de la Provincia de Córdoba y por FONCyT, PICT-97-02205 y PICT-99-07107, con la participación de la Facultad de Ingeniería de la UNRC, mediante el Proyecto SECyT No. 18/B014 “Desarrollo de Subsistemas Electrónicos y Mecánicos de un Propulsor de Plasma Pulsante para Control Orbital de Micro-satélites”, y como parte de un protocolo de trabajo oportunamente firmado entre ambas instituciones. Estos proyectos condujeron a la elaboración de modelos teóricos de funcionamiento del propulsor y del comportamiento magneto-gas-dinámico del fluido de trabajo [1, 2, 3]. A nivel experimental, se avanzó tanto en la producción como en la detección del efecto propulsivo, como veremos a continuación:

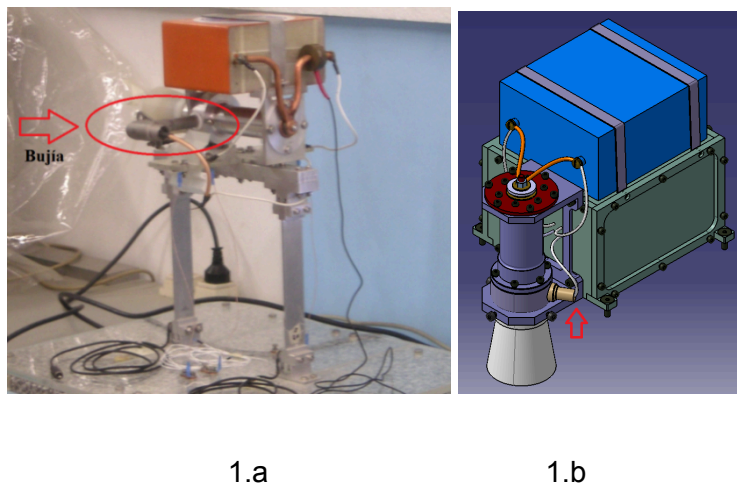


Fig.1: a) bujía montada en modelo de desarrollo; b) montaje de la bujía en el propulsor de plasma P4S-2.

Luego, se trabajó en el rediseño y la fabricación del modelo de Precalificación (P4S-1/MPC, Fig.1 [a]), con financiación de los proyectos PIDDEF No. 0010/08/FAA

y 033/11/FAA. En este contexto, se realizaron simulaciones [4, 5, 6] y se introdujeron modificaciones en los diseños del módulo de ignición [7, 8].

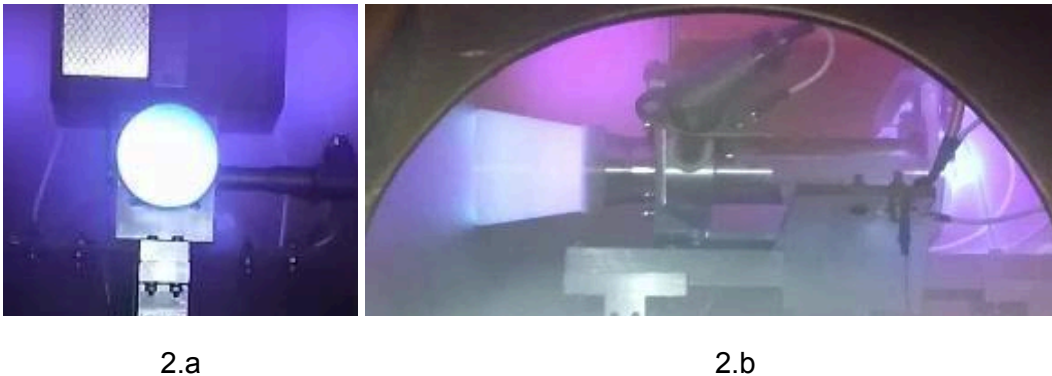


Fig.2: Ensayos funcionales del P4S-1/MPC: a) vista frontal; b) vista lateral.

Utilizando la información adquirida en los ensayos (Fig.2) [9, 10], se ha avanzado en el diseño preliminar del P4S-2/MPC (Fig.1 [b]) [11, 12, 13, 14, 15, 16] y se han mejorado las prestaciones de la electrónica de potencia, permitiendo así, reducir la masa y el volumen del propulsor [22, 23]. Actualmente el proyecto PIDDEF 05/17 tiene como objetivo desarrollar e integrar un modelo de vuelo del P4S-2.

Un Propulsor de Plasma Pulsante Ablativo necesita una bujía con capacidad de funcionar en alto vacío, cuya chispa inicie la reacción principal generadora de empuje. En el P4S-1/MPC se empleaba una bujía de Champion, la misma utilizada en el turborreactor ATAR 09C, siendo esta del tipo de descarga superficial. La misma consta de dos electrodos concéntricos de acero inoxidable, separados por un tubo de material cerámico, el cual posee una capa de un semiconductor en el área expuesta, lugar en donde aparece la chispa. En la Fig.3 (a) se muestra la bujía más en detalle, y en la Fig.1 (a) se la puede apreciar ya integrada al conjunto P4S-1/MPC.

Si bien ha probado su utilidad para el modelo de desarrollo y precalificación,

esta bujía no es compatible con el diseño del propulsor de plasma pulsante P4S-2 /MPC. Las principales razones radican en el volumen y masa excesivos del dispositivo y en su falta de calificación para uso aeroespacial.



3.a



3.b

Figura 3. a) Bujía Champion, turborreactor ATAR 09C; b) Bujía aeroespacial de fabricación china.

El propulsor P4S-2/MPC está pensado para estar equipado con bujías de uso aeroespacial, las cuales hacen uso del mismo principio de funcionamiento que la bujía utilizada en el modelo de desarrollo, y son fabricadas por China Opto-Electro Industries Co., Ltd, , Fig. 3 (b). La misma es utilizada en el propulsor de plasma pulsante MDT-2A, fabricado por la misma compañía [17]. En la Fig.1 (b) se señala la bujía montada en la unidad propulsiva P4S-2, de la manera en la que fue previsto en la referencia [12,15].

El desarrollo de una bujía propia calificada para vuelo, es decir, una Bujía Aeroespacial de Descarga superficial –de aquí en adelante la designaremos por su sigla BADS–, en paralelo con el actual desarrollo del propulsor P4S-2 PIDDEF 05/17, permitiría un avance integral y coincidente en el tiempo de los proyectos,

debido, principalmente, a que ambos presentan requerimientos de diseño y ensayo que resultan afines entre sí.

En este marco, se llevó a cabo un prediseño tanto de una bujía de descarga superficial -Modelo de Desarrollo (MD)- como de su módulo de ignición [18, 19], basado en trabajos publicados (ver referencias en [20, 21, 22]). En los casos estudiados, el material dieléctrico de estos dispositivos no es cerámico, sino que por el contrario, resulta ser una pastilla de politetrafluoroetileno (PTFE, más conocido por su nombre comercial Teflón®). Esto implica tensiones de funcionamiento superiores a las utilizadas por la bujía del P4S-1/MPC o la bujía de origen chino, del orden de operación con descargas de 15kV y 0.01J de energía, que si bien a 10kV ya sería operativa, posee grandes ventajas desde el punto de vista mecánico, en cuanto a diseño, fabricación e integración. Una bujía de descarga superficial de PTFE aprovecha la propiedad del material de permitir descargas superficiales [21]. El fenómeno de descarga superficial –en el cual se produce una ruptura dieléctrica sobre la superficie del material aislante entre dos electrodos– es el que permite la generación de una descarga en forma de chispa en condiciones de alto vacío. Es por ello que debe asegurarse un contacto íntimo entre los electrodos y el dieléctrico, a fin de que el camino del arco eléctrico esté siempre sobre la superficie de la pastilla de PTFE.

En el trabajo que presentamos, abordamos el desarrollo primario de una bujía orientado al modelo de ingeniería del P4S-2. Es por ello que no solo optamos por la utilización de electrodos coaxiales –la fijación por medio de una rosca incorporada al conjunto simplifica el montaje, por lo que la sección circular es ideal-, sino que nos inclinamos por un voltaje de operación de 20 kV.

3. Presentación de los organismos del CIA, DGID y FAA

El Centro de Investigaciones Aplicadas (CIA)³ es una institución dedicada a la generación y transferencia de conocimiento científico y tecnológico en áreas estratégicas para el desarrollo social y económico del país. Depende, como ya hemos mencionado, de la Dirección General de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Argentina (DGID-FAA)⁴ que se encuentra situado en la Avenida Fuerza Aérea Argentina km 5.5 de la ciudad de Córdoba, de la República Argentina.

En él se llevan a cabo numerosas investigaciones y se desarrollan aplicaciones en los campos de la aeronáutica, el acceso al espacio y el desarrollo y construcción de microsátélites, con el fin de satisfacer las necesidades y requerimientos de la Fuerza Aérea Argentina (FAA), así como proyectos conjuntos con otras instituciones y proyectos en el área industrial de asesoramiento y desarrollo de sistemas y subsistemas.

La historia del CIA se remonta a los albores de la cohetaría y el desarrollo espacial en el país. Es heredero de distintos organismos cuya denominación fue cambiando a través de los años, y su nacimiento tiene su génesis en la creación de la Fábrica Militar de Aviones, que en el año 1929 dio origen a la Dirección Aerotécnica con la misión de investigar y desarrollar proyectos conducentes a lograr diseños propios en materia aeronáutica, lo que marcó y trazó el rumbo de tales actividades hasta el presente. Entre los desarrollos más trascendentes se pueden mencionar los que enumeramos a continuación:

- **Desarrollos en el Área Espacial.** En esta área se desarrolló una serie de

³<https://www.argentina.gob.ar/fuerzaaerea/direccion-general-de-investigacion-y-desarrollo/centro-de-investigaciones-aplicadas-cia>

⁴ <https://www.argentina.gob.ar/fuerzaaerea/direccion-general-de-investigacion-y-desarrollo>

cohetes sonda, dedicados al estudio de la alta atmósfera, con una carga científica de 50 kg a 150 km de altura, efectuándose lanzamientos en la Pampa de Achala, el Puente del Inca, Chamental, la Antártida Argentina, e incluso hasta en la República del Perú. Entre los proyectos más destacados se pueden mencionar las series Centauro, Castor y Tauro. Por lo que respecta, en el área de cohetes de gran porte, se destacan el programa Alacrán, cuya finalidad estaba centrada en adquirir la tecnología necesaria para desarrollar un portador satelital, para lo cual se abordaron una serie de disciplinas que permitieron el logro de este objetivo. Se realizaron diversas experiencias en la base de lanzamiento ubicada en Chamental, La Rioja. Como desarrollo más sobresaliente, se destaca el programa Cóndor, siendo éste el proyecto más conocido tanto en el ámbito civil como en el militar, cuyo objetivo fue colocar una carga científica (microsatélites) de aproximadamente 200 kg en una órbita terrestre baja hacia finales de 1990;

- **Desarrollos en el Área Aeronáutica.** Paralelamente a las actividades mencionadas, el Instituto de Investigación Aeronáutica y Espacial (IIAE) participó en diversos desarrollos de sistemas y subsistemas aeronáuticos. Podemos destacar como los logros más relevantes de la FAA los proyectos de aviones tripulados el: IA-55 Guaraní, IA-53 Mamboretá, IA-58 Pucará, Avión de Transporte Liviano (ATL) y IA-63 Pampa.

El CIA comenzó con el desarrollo de Unidad Autónoma de Vuelo (UAV) -avión no tripulado- en la década del 2010, que dio como resultado la puesta en funcionamiento de un vehículo aéreo no tripulado de Clase 2 a

finis del año 2016, denominado Vigía 2A. Después se desarrollaron dos sistemas de UAV para entrenamiento de los pilotos de la Fuerza Aérea, el Aukan y el Búho, dos vehículos de Clase 1.

- **Desarrollos de microsátélites.** El 4 de octubre de 1957 se inyectó en órbita el primer satélite artificial de la Tierra, dando inicio a lo que algunos denominaron la *carrera espacial* y otros, acaso más visionarios, la *era espacial*. Casi 39 años después, el 29 de agosto de 1996, desde el cosmódromo ruso de Plesetsk, se puso en órbita el primer satélite artificial concebido, diseñado, construido y calificado en Argentina. Los objetivos de este satélite, al que se llamó Victor, fueron los siguientes:

- √ El desarrollo y puesta a punto de técnicas de ingeniería de bajo costo en el ambiente espacial;

- √ Proveer a científicos y técnicos de una herramienta apta para estudios sobre la preservación del medio ambiente y la evaluación de recursos naturales;

- √ Estimular el interés de las ciencias especiales en universidades y colegios mediante su participación activa.

La intención de llevar tecnología argentina al espacio condujo al concepto de microsátélite, ya en boga en los primeros años de la década de los noventa, como el único compatible con los limitados recursos –tanto humanos, como materiales y financieros– disponibles o factibles de obtener en plazos razonables hacia fines del 1996. Los resultados obtenidos demuestran que la misión propuesta se cumplimentó con un elevado porcentaje de éxito; no obstante, la valoración concreta de este éxito reside

en la posibilidad de capitalizar dichos resultados como experiencia técnica irremplazable y como base cierta de trabajo para futuros desarrollos tecnológicos en el rubro de microsátélites;

- **Estación de Control Terrestre.** Las Estaciones de Control Terrestre (ECT), desarrolladas por la DGID, han alcanzado un alto grado de madurez en su diseño, encontrándose en capacidad de efectuar el Comando y Control (C2) de los Sistemas Aéreos Remotamente Tripulados (SART) producidos por el Centro de Investigaciones Aplicadas (CIA).
- **Otros Desarrollos.** En consonancia con lo que venimos planteando, es necesario detenerse a mencionar que se han desarrollado también **Proyectos Área Radar, Proyectos Área Defensa y Proyectos Especiales**, en relación con el quehacer aeroespacial, así como también **Proyectos para la Industria.**

En otro orden de valoraciones, el CIA interactúa con la comunidad universitaria nacional en la concreción de prácticas supervisadas, tutorías de tesis de grado y pasantías de alumnos universitarios nacionales y extranjeros en temas vinculados con la aeronáutica y el desarrollo espacial. Con relación a su participación en el área académica, el aporte se da en por lo menos dos sentidos: por un lado, varios de los investigadores del Instituto Universitario Aeronáutico (IUA) (hoy, Universidad de la Defensa) como de otras universidades, transfieren las experiencias adquiridas en el CIA en los proyectos en los que hoy actúan y se desempeñan. Por otro lado, en la incorporación de becarios graduados y estudiantes en los diferentes proyectos que el CIA lleva a cabo a través del Programa de Investigación y Desarrollo para la Defensa (PIDDEF). Asimismo, a

través de la FAA, se ha establecido una serie de convenios de cooperación en el área de Investigación y desarrollo con la Universidad Nacional de Córdoba (UNC), la Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC) y la Universidad Tecnológica Nacional (UTN).

En tal sentido, el CIA cuenta con una dotación de más de 60 profesionales con dedicación de tiempo completo, de los cuales la gran mayoría están categorizados en el Régimen de Investigación y Desarrollo de las Fuerzas Armadas (RPIDFA), que además de concebir, participar y coordinar los proyectos arriba mencionados, brindan el espacio para que estudiantes y quizá futuros colegas, comiencen sus prácticas en el área de la investigación

Además, el Centro de Investigaciones posee una importante infraestructura edilicia, adecuadas instalaciones para el armado y puesta a punto de sistemas para ser inyectados en el espacio (tipo "Sala Blanca", con filtros tipo HEPA), así como centro de mecanizado, laboratorios de electrónica, túnel de viento, etc. que lo hacen ideal para el desarrollo, diseño, armado y prueba de funcionamiento de sistemas aeronáuticos y espaciales, que intenta convertirse en un Centro de referencia y una plataforma tecnológica que aporte a la comunidad científica de Córdoba y su zona de influencia, desarrollos tecnológicos de primer nivel en el ámbito nacional e internacional.

En la actualidad desarrolla y construye Vehículos No Tripulados (UAV); materializa el Plan de Acceso al Espacio de la FAA; y también microsátélites, los que se prevé serán inyectados en el futuro por vehículos portadores diseñados y construidos por ingenieros y tecnólogos argentinos. Los proyectos están referidos a los siguientes temas: alertas tempranas y/o predicciones meteorológicas,

relevamiento desde el espacio de recursos naturales, desarrollo de fuentes renovables de energía, estudios biomédicos en situaciones de ingravidez, desarrollo de nuevos materiales, entre otros. Un ejemplo de lo anterior es el proyecto de desarrollo y construcción del Microsatélite uSAT3 en asociación con la Universidad nacional de Córdoba, cuyos objetivos son: calificar una plataforma espacial basada en ingeniería de bajo costo, proveer de una herramienta para experimentos y pruebas en condiciones espaciales y estimular el interés en las actividades relacionadas con el espacio. Esto permitiría la recolección de datos de estaciones ambientales, hidrológicas y meteorológicas y su utilización en aplicaciones didácticas y como relé de comunicaciones.

3.1. Misión, visión, propósito y valores del CIA

En la misión, visión, propósito y valores y principios que el CIA sostiene –y que detallamos a continuación– se pueden reconocer de manera análoga su pasado, su presente y la mirada puesta en un futuro a todas luces promisorio.

- **Misión:** Contribuir al avance de la ciencia y la innovación mediante el desarrollo y la ejecución de proyectos estratégicos de base tecnológica e investigación aplicada de alta calidad, con un enfoque multidisciplinario y orientado a la solución de problemas reales de la sociedad y el sector productivo. Propiciando, de este modo, la formación y especialización de recursos humanos en el campo aeroespacial, y facilitando, a su vez, el acceso a infraestructura, equipamiento, tecnología y asesoramiento de profesionales. Todo ello con el fin de fomentar la vinculación tecnológica entre grupos de investigación públicos y privados.

- **Visión:** posicionarse como un centro de referencia y plataforma tecnológica a nivel nacional e internacional, con la finalidad y el compromiso de alcanzar los más altos estándares en investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) para ser el nexo entre el mundo científico y la producción de empresas públicas y privadas, y ser reconocido, a su vez, por su excelencia académica, su impacto social y su vinculación con el entorno.
- **Propósito:** Generar valor agregado a través del conocimiento, la creatividad y la tecnología, impulsando el desarrollo sostenible y la competitividad del país. En diálogo con esto, promover y fortalecer investigaciones que supongan un avance en las fronteras del conocimiento y generen descubrimientos y aplicaciones en la industria aeronáutica y aeroespacial.
- **Valores y principios:** los valores que orientan el quehacer del CIA son: el compromiso, ya que se asume con responsabilidad y entusiasmo los desafíos y objetivos de la institución, buscando siempre la excelencia y la mejora continua; responsabilidad, con la institución, los proyectos y la comunidad; creatividad e innovación, porque se fomenta la curiosidad y el espíritu crítico, y la búsqueda de nuevas formas *hacer* de manera eficiente y efectiva; ética, porque se actúa con integridad, honestidad y transparencia, respetando las normas y principios que rigen la actividad científica y la convivencia social. Y todo ello porque el principio que rige es aprender del pasado, trabajar en el presente con vistas a los desarrollos futuros.

4. Planteo del problema

Para retomar el tema que nos convoca, y como señaláramos oportunamente, el sistema de ignición del propulsor depende de la incorporación de una bujía de aplicación espacial que no se dispone en el país y que necesariamente debe ser importada de la República de China por medio de la empresa China Opto-Electro Industries Co., Ltd, u otro proveedor con similares características y prestaciones. Pero debido a la incertidumbre y depreciación económica del dólar (moneda con la que se ajustan los precios de los componentes electrónicos y mecánicos), no fue posible la compra de bujías de ignición y un componente cerámico de ajuste, siendo imposible su obtención en el mercado nacional por tratarse de un componente de calidad espacial de alta especificidad.

Lo antes dicho nos enfrenta a la pregunta ¿existe la posibilidad de desarrollar en el país, una bujía de características similares a la indispensable para el avance del proyecto Motor de Plasma Pulsante que me permita maniobrar satélites en el espacio profundo? La respuesta es sí. Es por esto que la propuesta del “Desarrollo y Calificación de Bujía Aeroespacial de Descarga Superficial para un Motor de Plasma Pulsante” es necesaria y pertinente, si lo que se busca es que complete el sistema de ignición de aplicación espacial.

Cabe destacar aquí, que por la ausencia de la bujía se trunca el programa de consolidación del desarrollo nacional de propulsores eléctricos para la propulsión en órbita, capacidad que actualmente se encuentra en pleno proceso de expansión en el contexto internacional, y cuya necesidad se torna evidente en el creciente número de misiones de vuelo en formación (“enjambres” o “constelaciones) previstas en dicho contexto para la observación y monitoreo de recursos naturales y efectos del

cambio climático, así como otras actividades de observación de interés para la Defensa.

5. Justificación de la propuesta

Como ya hemos señalado, un Propulsor de Plasma Pulsante Ablativo (PPPA) necesita de una bujía –con capacidad de funcionar en alto vacío–, cuya chispa inicia la reacción principal generadora de empuje.

El desarrollo de una bujía propia calificada para vuelo –a partir de ahora la llamaremos BADS (Bujía Aeroespacial de Descarga Superficial)– contribuye al desarrollo del propulsor P4S-2 (Proyecto PIDDEF 05/17), lo que posibilita un avance integral y coincidente en el tiempo de los proyectos, y esto debido, principalmente, a que ambos presentan requerimientos de diseño y ensayo que resultan afines entre sí. *El presente trabajo pretende abordar un desarrollo primario de una bujía orientada al modelo de ingeniería del P4S-2.*

Como hemos señalado en el apartado anterior, la bujía de aplicación espacial no está disponible en el país y debe ser importada. Con el proyecto de la bujía nacional, se lograría concretar el avance de un propulsor de plasma pulsante desarrollado íntegramente en el país.

De manera subsidiaria con este proyecto, es mi deseo intervenir para transformar nuestra realidad, mejorar la calidad de vida de las personas, las comunidades y las organizaciones al impulsar la investigación, el desarrollo y la innovación en nuestro país. En este sentido, entiendo que se trata, entre otras cosas, de una innovación que además de tecnológica, pretende también ser social. Para toda investigación científica, ya sea que suponga un requisito para obtener resultados de calidad y confiables, así como para lograrlos en un tiempo oportuno en donde éstos redunden en utilidad o puedan generar el impacto esperado, los investigadores buscan acceder a las últimas y más avanzadas tecnologías, ya que es un hecho que el acceso a determinadas tecnologías es absolutamente

condicionante para el progreso de la ciencia.

Y todo esto porque se procura impactar en el bienestar y el desarrollo de las comunidades que habitan el país. Nuestra propuesta recupera esta cuestión: en la época que nos ocupa, en la que la ciencia y la tecnología desempeñan un rol fundamental, es necesario adecuarse a los cambios históricos que exigen un continuo e incesante avance e innovación en estas materias.

6. Relevamiento de antecedentes

Como ya hemos mencionado, un Propulsor de Plasma Pulsante Ablativo (PPPA) necesita una bujía con capacidad de funcionar en alto vacío, cuya chispa inicia la reacción principal generadora de empuje. En el P4S-1/MPC se empleaba una bujía Champion, la misma utilizada en el turborreactor ATAR 09C, siendo esta del tipo de descarga superficial. En la Fig.3 (a) se muestra la bujía, y en la Fig.4 (a) se aprecia ya integrada en el conjunto P4S-1/MPC.

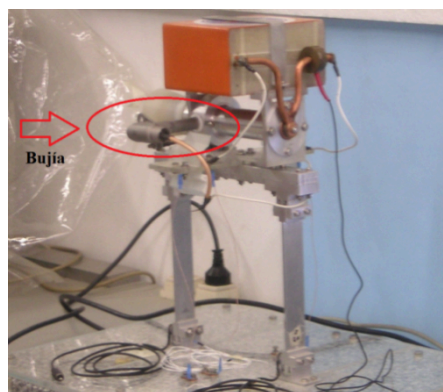


3.a

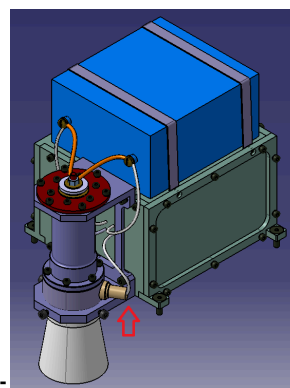


3.b

Fig.3. a) Bujía Champion, turborreactor ATAR 09C; b) Bujía aeroespacial de fabricación china.



4.a



4.b

Fig.4: a) Bujía montada en modelo de desarrollo. b) Montaje de la bujía en el propulsor de plasma P4S-2.

Si bien ha probado su utilidad para el modelo de desarrollo y Precalificación, esta bujía no es compatible con el diseño del Propulsor de Plasma Pulsante P4S-2 /MPC. Las principales razones radican en el volumen y masa excesivos del dispositivo y en su falta de calificación para el uso aeroespacial.

El propulsor P4S-2/MPC está diseñado para estar equipado con bujías de tipo aeroespacial, las cuales hacen uso del mismo principio de funcionamiento que la bujía utilizada en el modelo de desarrollo, y son fabricadas por China Opto-Electro Industries Co. Ltd., Fig. 3 (b). La misma es empleada en el propulsor de plasma pulsante MDT-2A, fabricado por la misma compañía [17]. En la Fig.4 (b) se señala la bujía montada en la unidad propulsiva P4S-2, de la manera en la que fue tratado los artículos científicos publicados en las referencias [20, 21, 22].

En este contexto, se llevó a cabo un Prediseño tanto de una bujía de descarga superficial –Modelo de Desarrollo (MD)–, como de su módulo de ignición [4, 5], basado en los trabajos consignados en las referencias [6, 7, 8]. En los casos estudiados, el material dieléctrico de estos dispositivos no es cerámico, sino que resultó ser una pastilla de PTFE (Teflón®). Este material implica voltajes de funcionamiento superiores a los utilizados por la bujía del P4S-1/MPC o la bujía de origen chino, del orden de operación con descargas de 15kV y 0.01J de energía. En el presente caso, se trata de un desarrollo primario de una bujía orientado al modelo de ingeniería del P4S-2, y es por ello que no sólo se decide por la utilización de electrodos coaxiales –la fijación por medio de una rosca incorporada al conjunto simplifica el montaje, por lo que esta sección circular es ideal–, sino que se opta por un voltaje de operación de 20 kV.

7. Objetivos

En las páginas que siguen, detallamos los objetivos a los que aspiramos llegar con la puesta en marcha de este proyecto.

7.1. Objetivo general

Se estima que para completar el proyecto “Desarrollo y Calificación de Bujía Aeroespacial de Descarga Superficial para un Motor de Plasma Pulsante”, con base en los antecedentes mencionados precedentemente, deberá alcanzarse el Objetivo General (o Primario) siguiente: desarrollar la Bujía Aeroespacial de Descarga Superficial BADS, correspondiente al modelo de calificación para un propulsor de plasma, alcanzando así el nivel de aprestamiento tecnológico exigido.

Tratándose de un objetivo típicamente tecnológico, se torna imprescindible caracterizarlo cuantitativamente, a los fines de acotar objetivamente las acciones necesarias para su concreción. La bujía de descarga superficial forma parte de un propulsor de plasma pulsante, lo que significa que no solo existen requerimientos de tensión de funcionamiento o de cantidad de descargas a realizar, sino también requerimientos mecánicos y de volumen del dispositivo:

Tensión de funcionamiento	20kV
Diámetro mayor máximo	15mm
Longitud máxima	50mm
Diámetro máximo rosca de fijación	M12x1.25
Nº descargas	>2.000.000

El sistema deberá también satisfacer especificaciones de funcionamiento y compatibilidad con condiciones de ambiente espacial y de lanzamiento que obran como objetivos específicos de este proyecto.

7.2. Objetivos específicos técnicos

Nuestros objetivos específicos técnicos son los que listamos a continuación:

- Diseñar la Bujía Aeroespacial de Descarga Superficial (BADS-MD);
- Construir la Bujía Aeroespacial de Descarga Superficial (BADS-MD);
- Ensayar la Bujía Aeroespacial de Descarga Superficial (BADS-MD);
- Analizar y evaluar el comportamiento de BADS-MD;
- Ajustar el diseño e integración de la BADS-MD;
- Fabricar el modelo de vuelo BADS-MC;
- Calificar el modelo de vuelo BADS-MC.

La calificación espacial (MC) se define aquí como la aptitud de componentes, conjuntos, subsistemas y sistemas, con capacidad de funcionar conforme a requerimientos operativos previamente definidos, en las condiciones del ambiente espacial, y de acuerdo con el “Estado del Arte” que involucran esencialmente:

- Excitación acústica;
- Vibraciones y choques;
- Aceleraciones cuasi-estáticas;
- Alto vacío;
- Cargas térmicas (flujo solar, albedo e IR terrestre, espacio);
- Rango de temperaturas de operación;
- Compatibilidad Electromagnética;
- Interferencia Electromagnética/Contaminación radioeléctrica;
- Contaminación del espacio-nave por eyectables.

7.3. Objetivos específicos institucionales

Asimismo, en lo concerniente a los objetivos específicos institucionales, el proyecto busca:

- Captar candidatos para Becas de Capacitación Profesional y de Maestría del Área Electrónica y Mecánica, mediante una adecuada campaña de difusión en universidades con estipendios actualizados y acordes a la importancia del proyecto.
- Gestionar recursos económicos para la ejecución del mencionado proyecto.
- Entablar diálogo con universidades e institutos de investigación y desarrollo a fin de lograr “Convenios” de reciprocidad y cooperación mutua.
- Alcanzar acuerdos vía el “Ministerio de Defensa” con el sector privado para la producción de bienes y servicios para la “Defensa Nacional”.
- Lograr un “Convenio” con FAdeA S.A. de contraprestación de servicios, y gestionar la reparación y el mantenimiento de la Cámara de Alto Vacío (ubicada en el pabellón 115 de FAdeA S.A.).

Otro de los hitos fundamentales para los mencionados objetivos específicos institucionales, es resolver la cuestión de la falta de operatividad de la Cámara de Alto Vacío, y por consiguiente, obtener los fondos para su reparación y mantenimiento.

7.4. Objetivos específicos académicos

- Capacitar al personal de la institución así como también a becarios, pasantes e ingenieros recién egresados en esta importante tecnología disruptiva.
- Que los Investigadores transfieran las experiencias adquiridas en el CIA a los proyectos en los que actúan y se desempeñan.

“Si planificar es sinónimo de conducir conscientemente, entonces no existe alternativa a la planificación. O planificamos o somos esclavos de las circunstancias. Negar la planificación es negar la posibilidad de elegir el futuro”, escribió el ex ministro de Economía chileno, Carlos Matus (1987, p. 6). Siguiendo su línea de pensamiento, en esta realidad social, la planificación se presenta como un problema. Pero, ¿entre quienes? Entre aquel individuo que busca su fin particular y el colectivo que intenta imponer una dirección y orden. Porque aquí reside otro de los planteos de Matus, central en el enfoque situacional, la cuestión del *otro*. Es necesario detenerse, aunque sea brevemente, a considerar los modos en los que nuestro accionar impacta, de cerca o de lejos, a grupos humanos o comunidades *otras*, muchas veces subalternizadas.

Las formas de vincularse con los demás constituyen un aspecto fundante de la cultura, ¿qué hacer con el otro? Se le puede ignorar, se le puede pensar como materia de dominación objetivable. No es esto lo que procuramos con el proyecto que presentamos: nuestro interés es el desarrollo crítico, responsable y sustentable de la BADS procurando, por supuesto, su impacto en la tecnología e innovación nacional, pero sin dejar de reconocer la importancia y centralidad de que éste en modo alguno impacte de manera negativa sobre nuestro país, sus ciudadanos y el medio ambiente que habitamos. Por el contrario, nuestras coordenadas de pensamiento están también supeditadas al propósito de poder contribuir a un acceso a la tecnología de manera horizontal y a que el conocimiento fluya con libertad entre nosotros –la comunidad científica– y los otros.

8. Gestión del Proyecto

En el marco de las actividades de planificación de las organizaciones, es necesario distinguir entre la planificación *estratégica* y la planificación *operativa*. Aun cuando ambas tratan de determinar los mejores cursos de acción, la primera se refiere al largo y mediano plazo, mientras que la segunda se relaciona con el corto plazo.

1. **Problemática:** por lo general, desde la fecha de presentación del proyecto hasta la fecha de inicio del mismo, y en ocasiones en coincidencia con el cambio de *conducción* en la institución, se produce inevitablemente una reformulación de prioridades de I+D+i (Investigación, Desarrollo e innovación) de la Fuerza Aérea Argentina (en adelante FAA), resintiéndose el apoyo presupuestario en tiempo y forma a los proyectos que no son prioritarios, lo que impacta directamente en la posibilidad de *alcanzar* los *objetivos* planteados en la *planificación prevista*. Es un factor *externo*, o condición contextual que es necesario tener en cuenta.
2. **Un poco de historia:** en el proyecto PIDDEF 005/2017; estaba previsto que la FAA cubriera los costos de **reparación y mantenimiento** de la **Cámara de Alto Vacío** (ubicada en el pabellón 115 de FAdeA S.A.). La FAA no cumplimento con lo acordado, lo que impactó directamente en la posibilidad de solventar los gastos de la puesta en operación de la Cámara de Alto Vacío por no contar con **otras fuentes de financiamiento** y por consiguiente, derivó en la **suspensión** de los **ensayos de funcionamiento** previstos en dicha cámara.
3. **Hacer o no hacer, y qué:** desde la Dirección del proyecto se intentó continuar con nuestra labor en otras dependencias del Estado Nacional, a saber, CONAE, INVAP, UNC, UTN, etc., pero sin éxito, debido a rígidas

estructuras burocráticas. Cabe consignar aquí que dichas instituciones prestan servicio a cambio de una contraprestación o un cobro monetario.

4. **Una expresión de anhelo:** sería alentador para el desarrollo y puesta en marcha de proyectos de investigación –cualquiera sean–, que en vez de encontrar puertas cerradas en las instituciones del Estado, se contemple la posibilidad de prestar colaboración sin ningún costo para las actividades de I+D+i. Es decir, que haya un *acuerdo marco* que posibilite el uso de instalaciones, equipos y personal de apoyo a las tareas que demande un proyecto, y de esa manera cambiar el curso de los acontecimientos.

Además, sería fundamental –e ineludible– que desde la conducción, tanto política como de la unidad ejecutora (en este caso la FAA), no negar o replantear el apoyo a los proyectos en curso aun cuando haya cambios de gobiernos y/o jefes de la institución.

A continuación, presentamos de forma detallada los actores y escalas y grados de intervención, así como la situación inicial desde la cual partimos.

a) Mapa de los actores que tienen incidencia en la situación problemática descrita

Actores	Esfera en la que se insertan: a saber, Estado, Mercado, Soc. Civil, cruce entre algunas de ellas.	Escala territorial en la cual actúa: global, nacional, provincial, local, barrial, etc.	Interés o rol en la problemática	Herramientas con las que cuenta para incidir en la problemática
Jefatura de la DGID-FAA	Estado Nacional	Nacional	Interés primordial	Presupuesto asignado a horas de ensayo en FAdeA S.A.
Jefatura del CIA-DGID-FAA	Estado Nacional	Nacional	Interés primordial	Gestión para acreditación de horas de ensayo en FAdeA S.A.
Gerente del Área "Experimental" de FAdeA S.A.	Empresa Estatal	Nacional	Interés secundario	Personal, recursos y equipamientos para el ensayo en Cámara de Vacío del Prototipo.
CONAE, INTI, UNC, UTN	Estado Nacional	Nacional y Provincial	Interés secundario	Personal (docentes, investigadores), recursos y equipamientos para el ensayo en Cámara de Vacío del Prototipo.
INVAP	Empresa pública con participación estatal	Nacional y Provincial	Interés primordial mediante un cobro monetario (razón de ser de la empresa).	Asignación de personal, recursos y equipamientos para el ensayo en Cámara de Vacío del Prototipo.

b) Matriz de escenarios bajo el supuesto de que no se interviene sobre la problemática analizada

Problemática analizada, situación actual	Peor escenario si la problemática se agrava	Escenario menor, menos grave	Escenario más probable
Falta de operatividad de la Cámara de Alto Vacío.	Suspensión de los ensayos de funcionamiento previstos en dicha cámara.	Intervención por parte de la FAA, cubriendo los costos de reparación y mantenimiento de la Cámara de Alto Vacío.	Lograr un acuerdo marco que posibilite el uso de instalaciones, equipos y personal de apoyo en otras dependencias del Estado Nacional que cuenten con una Cámara de Alto Vacío

c) Matriz de capacidades y recursos con que la institución cuenta para hacer frente a la problemática analizada

- Institución: CIA- DGID-FAA y FAdeA S.A

Ubicación geográfica y dependencia institucional	Cantidad de trabajadores, perfiles y formación	Recursos económicos (disponibilidad de presupuesto)	Recursos intangibles	Otros recursos materiales	Articulaciones y convenios
Gerencia del Área "Experimental" de FAdeA S.A. Situada en la Provincia de Córdoba.	Planta personal integrada por Ingenieros, Técnicos y auxiliares (en total, cinco).	FAA debe asignar horas de ensayo para cubrir los costos de reparación y mantenimiento de la Cámara de Alto Vacío.	Se dispone de cierta experticia por parte de los investigadores asociados al Proyecto para poner a punto el sistema.	No se disponen.	Hay gestiones para lograr un acuerdo marco con otras dependencias del Estado Nacional que cuenten con una Cámara de Alto Vacío.

9. Aspectos teóricos: bujías de uso aeroespacial

Una bujía de descarga superficial de PTFE aprovecha la propiedad del material de permitir descargas superficiales [8]. El fenómeno de descarga superficial –en el cual se produce una ruptura dieléctrica sobre la superficie del material aislante entre dos electrodos– es el que permite la generación de una descarga en forma de chispa en condiciones de alto vacío. Es por ello que debe asegurarse un contacto íntimo entre los electrodos y el dieléctrico, a fin de que la chispa tenga un camino para recorrer.

Debido a que la bujía utilizada en propulsores de plasma pulsantes con propelente sólido inerte (P4S) debe operar en un ambiente espacial, las condiciones de trabajo de la misma son:

1. Ambiente de alto vacío;
2. La bujía opera a la temperatura del cátodo –en este caso el electrodo anular exterior–, sobre el cual se encuentra montado;
3. La superficie de operación –donde se produce la descarga de la bujía– se halla expuesta a la descarga principal del P4S;
4. Debido a la condición 3, la superficie de trabajo se ve sometida a depósitos de productos de la ablación del propelente, contaminación que puede provocar intermitencia de funcionamiento o descargas fallidas.

El apropiado funcionamiento de la bujía se puede resumir en las capacidades de anti-erosión y anticontaminación que presente el dispositivo [17].

En este punto es preciso aclarar que existen 3 tipos o conceptos de bujías:

- Bujías **convencionales**: son las utilizadas en la industria automotriz y consisten en dos electrodos entre los cuales hay una distancia o luz en la cual se produce la chispa. En el caso de un medio ambiente espacial, sería

necesaria una tensión demasiado alta e impráctica para la generación de la descarga.

- **Bujías de descarga superficial:** entre los electrodos existe un aislante –en general un cerámico como una alúmina–, siendo sobre su superficie el lugar en donde se produce la chispa. Si bien la descarga se produce a una tensión menor que el caso anterior, sigue siendo relativamente alta.
- **Bujías de capa semiconductor:** si el aislante de la bujía de descarga superficial es tratado o cubierto con una capa de material semiconductor, la tensión de trabajo no solo cae abruptamente –en el orden de los 10^2 - 10^3 V– sino que también este voltaje ya no depende de la presión ambiente.

9.1. Influencia del diámetro de electrodo

Según lo analizado en la referencia [17], en el desarrollo de la bujía coaxial para el propulsor chino de serie MDT, al aumentar el diámetro del electrodo central, la tasa de erosión del mismo disminuye, de modo que las dimensiones finales y óptimas resultantes de ensayos quedan en diámetros exteriores de 4.5mm para ánodo y 10mm para cátodo, con una luz entre electrodos de aproximadamente 1.25mm.

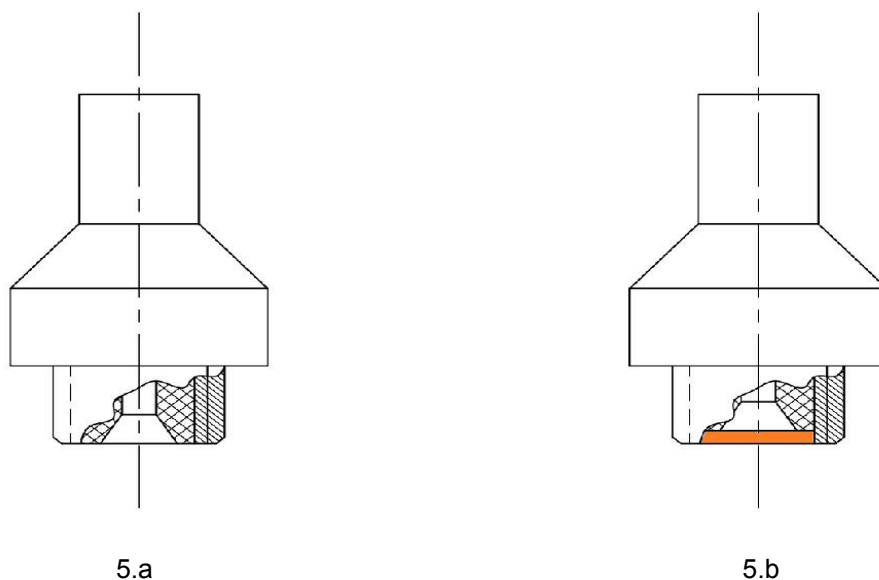


Fig. 5. a) Terminación plana. b) Terminación cóncava, con concavidad coloreada.

9.2. Tipos de superficies de descarga

Existen dos tipos de terminación para la superficie donde se produce la descarga: terminación plana y terminación cóncava. La terminación plana implica que ambos electrodos y el aislante se encuentran al mismo nivel en la cara expuesta a la reacción, como se observa en la Fig.5 a). En cuanto a la cóncava, la superficie del aislante se encuentra hundida respecto a la de los electrodos Fig.5 b), siendo dicha brecha del orden de los 0.5mm-1mm, coloreada en la figura.

Los ensayos [17] han demostrado que el tipo cóncavo es más proclive que el tipo plano a acumular depósitos de carbón, lo que trae aparejado un acortamiento en la vida útil de la bujía.

9.3. Consideraciones de diseño

Una bujía de descarga superficial de PTFE aprovecha la propiedad del material para permitir descargas superficiales [22]. El fenómeno de descarga superficial –en el cual se produce una ruptura dieléctrica sobre la superficie del material aislante entre dos electrodos– es el que permite la generación de una descarga en forma de chispa en condiciones de alto vacío. Es por ello que debe asegurarse un contacto íntimo entre los electrodos y el dieléctrico, a fin que la chispa tenga un camino para recorrer.

En [20, 21] se ofrecen detalles sobre una bujía de Teflón, parte de un PPPA desarrollado para *CubeSats*. Aquella posee electrodos rectangulares –debido al poco espacio disponible– y opera con descargas de 15kV y 0.01J de energía, aunque a 10kV ya sería operativa. La distancia entre electrodos ronda los 2 mm.

El presente caso se trata de un desarrollo primario de una bujía orientado al modelo de ingeniería del P4S-2. Es por ello que no solo se decide la utilización de electrodos coaxiales –la fijación por medio de una rosca incorporada al conjunto

simplifica el montaje, por lo que la sección circular es ideal—, sino que se opta por un voltaje de operación de 20kV.

Dimensionalmente, para el diámetro de conjunto se considera máximo de 15mm, basado en las dimensiones de la bujía construida por China Opto-Electro Industries Co., Ltd. La rosca utilizada para el montaje no debe ser mayor a M12, por razones de interferencia en el conjunto montado del P4S-2. Por otra parte, se fija la distancia entre electrodos en 1mm, valor que corresponde a las limitaciones de volumen, geométricas y dimensionales, ya que la bujía debe ser suficientemente compacta como para montarse en el propulsor [22]. Estos valores aseguran la producción de la chispa, hecho que prima en esta etapa incipiente del diseño. Las campañas de ensayos tienen como objetivo optimizar los parámetros eléctricos y geométricos.

Sin embargo, este diseño se puede ver afectado por los efectos de erosión superficial y carbonización [22]. Con respecto al primer problema, la modificación del relieve de la superficie incide directamente en el camino de la descarga. Con respecto al segundo, una capa de material carbonizado formado sobre la superficie es especialmente dañino, ya que podría hacer de cierre de circuito al conducir corriente entre los electrodos, lo cual evitaría cualquier formación de la chispa buscada. Campañas de ensayos de larga duración probarán los efectos descritos.

El material escogido para la fabricación de los electrodos es el acero inoxidable (probablemente 304, siendo éste el más común). Esta aleación funciona correctamente para este fin, ya que es el componente de la bujía Champion anteriormente utilizada, si bien a una tensión mucho menor que la prevista para el actual desarrollo. Los ensayos revelarán si el material elegido es el adecuado.

9.4. Requerimientos eléctricos generales

En otro orden de cosas, los requerimientos de funcionamiento de una bujía de PPPA se refieren a la tensión de trabajo y a la resistencia de aquella.

Y respecto de la tensión de trabajo, es necesario tener en cuenta que la misma varía en función de la temperatura, por ejemplo, a una temperatura límite fría de funcionamiento de -50°C , donde la bujía debería trabajar a su voltaje máximo. El límite inferior es establecido tanto por la capacidad del aislante de permitir descargas superficiales como por la energía mínima de la chispa que genere una apropiada reacción principal del propulsor.

La resistencia constituye el otro parámetro a ser tenido en cuenta, y en tal sentido, es preciso aclarar que debe ser tan alta como sea posible, pero sin aumentar en demasía la tensión de operación. Y esto debido a que a mayor resistencia y voltaje, la energía de descarga aumenta, promoviendo así la capacidad de autolimpieza de la superficie de trabajo, y eliminando con la chispa los depósitos de carbón generados por despolimerización del propelente sólido del propulsor.

Estos factores mencionados no solo afectan la *performance* de la bujía y, consecuentemente, del PPPA, sino que también a la vida útil, la cual corresponde a una cantidad de pulsos de entre 10^6 y 10^7 , para un propulsor calificado para vuelo.

9.5. Requerimientos de diseño

Teniendo en cuenta todo lo explicado, es posible precisar los requerimientos de diseño de la bujía de Teflón® BADS:

- Tensión de funcionamiento: 20kV
- Diámetro máximo: 15mm
- Longitud máxima admisible: 50mm
- Diámetro rosca para fijación: M12x1.25

- Material electrodos: Acero inoxidable 304
- Material dieléctrico: PTFE

Es necesario detenerse a mencionar que debe ser previsto algún tipo de fijación para los cables o conectores que alimentan los electrodos, así como también algún sistema de montaje del conjunto.

Como ya fue mencionado, los parámetros de diseño están sujetos a los cambios conceptuales que puedan exigir los resultados de los ensayos para la optimización del diseño.

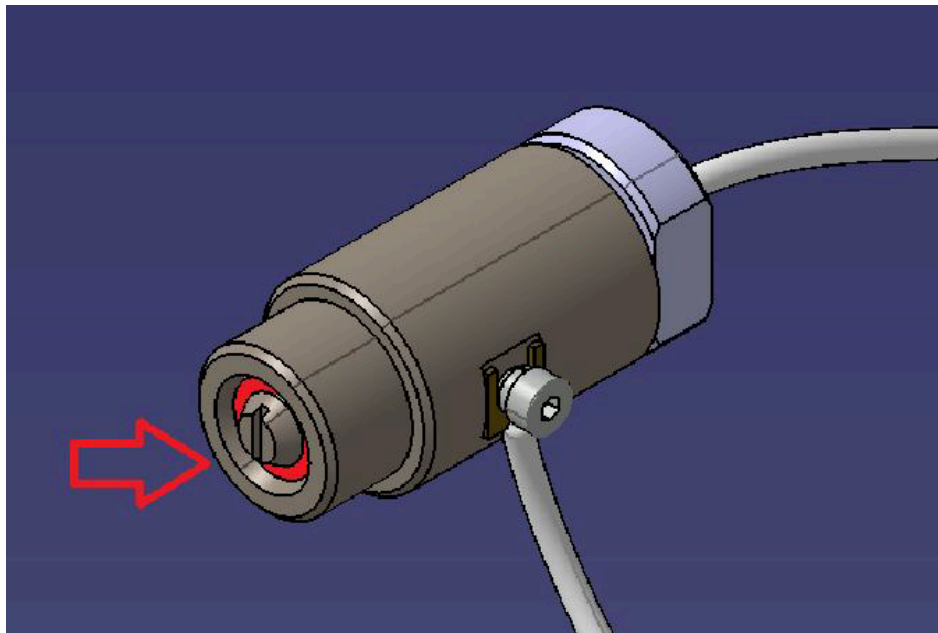


Fig. 6. Vista general de la bujía.

9.6. Conjunto Bujía

En la Fig. 6 se muestra la bujía BADS completa con conexiones eléctricas. Resaltado en rojo se señala la superficie expuesta de Teflón entre los electrodos donde se da la descarga superficial. Ésta es la región expuesta a la cámara de reacción del propulsor de plasma pulsante P4S-2.

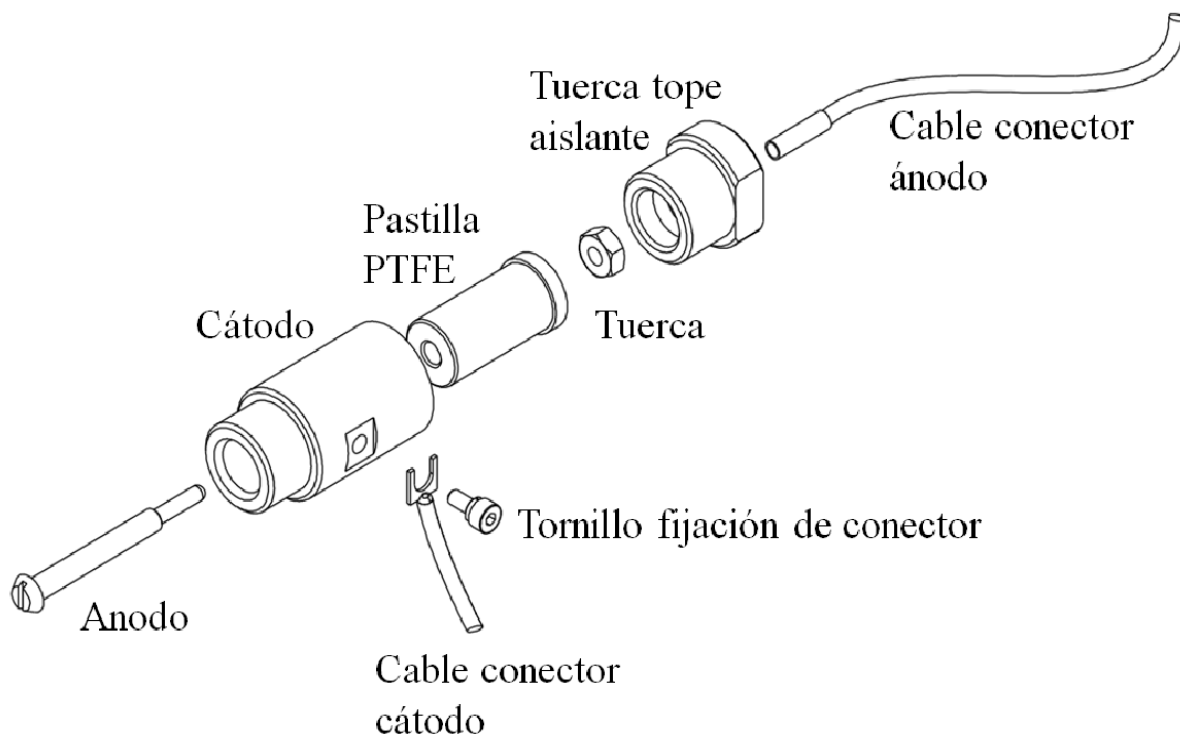


Fig. 7. Componentes de la bujía BADS.

Un despiece del conjunto, mostrado en la Fig. 7, sirve para ilustrar la ubicación de los componentes y la Fig. 8 detalla el proceso de armado:

1. Armar un subconjunto con el ánodo, la pastilla de PTFE y la tuerca, dispuestos como se ve en la Fig. 8. Un extremo del electrodo posee una ranura, a modo de contrapunto de la tuerca, ubicada en el otro extremo. Esto asegura la presión y el contacto íntimo entre ánodo y Teflón.
2. Introducir el subconjunto del punto 1 en el cátodo. Colocar la tuerca tope aislante para asegurar el conjunto.
3. Colocar los conectores en los puntos correspondientes.

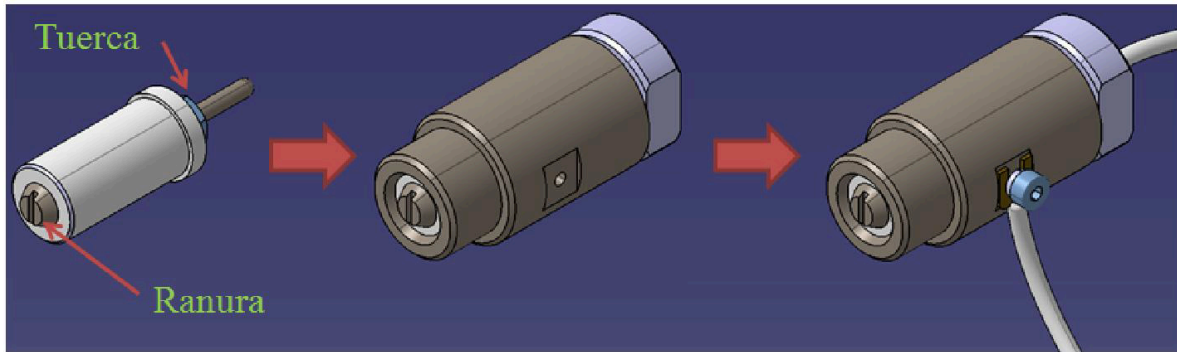


Fig. 8. Procedimiento de armado de bujía BADS.

En la Fig. 9 se aclara la disposición interna de los componentes en forma de corte.

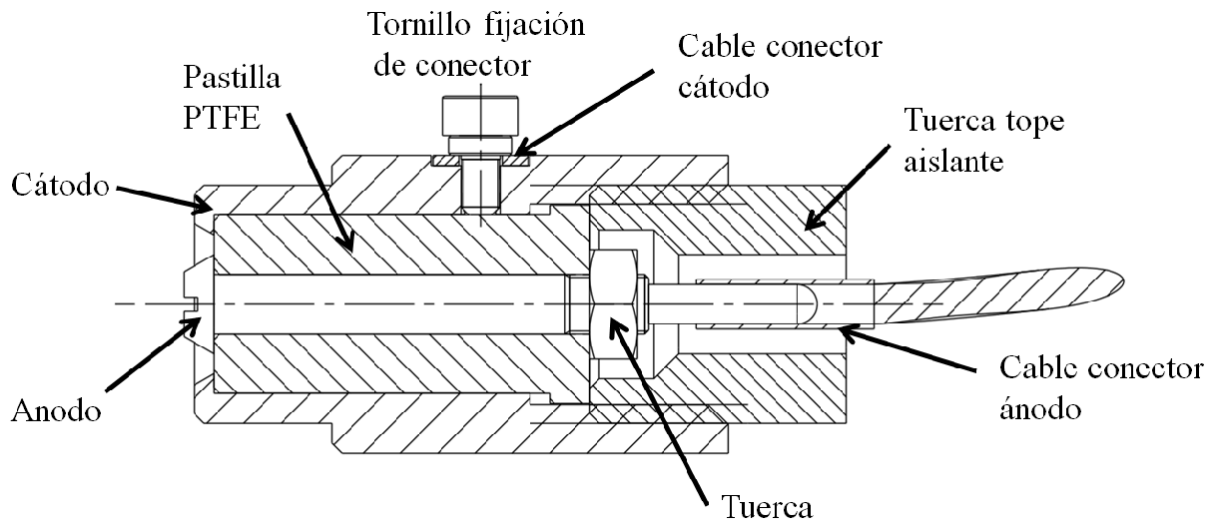


Fig. 9. Vista en corte de la bujía.

9.7. Planos de fabricación

En el anexo⁵ se adjuntan los planos de fabricación de los componentes. En este punto es oportuno realizar una aclaración con respecto a la nomenclatura de los números de parte asignados. Siguiendo el procedimiento desarrollado en la referencia [23], se dispone una nomenclatura para identificar a cada parte y al conjunto de la Bujía Aeroespacial de Descarga Superficial. Esta última obtiene la

⁵ Ver anexo segundo.

numeración ZGSATX-641000A00B, donde la cifra resaltada corresponde al subconjunto Grupo Propulsor y Bancada del Propulsor de Plasma Pulsante Ablativo P4S-2.

9.8. Circuito de ignición

La salida del circuito de ignición del modelo de ingeniería del P4S-2 tiene capacidad para disparar dos bujías, aunque no simultáneamente, con una energía de 1J. Este circuito consta de dos transformadores de pulso, Fig. 10, en cuyo secundario se conecta la bujía y en el primario el circuito de descarga de un capacitor, el cual tiene una capacidad de $8\mu\text{F}$ y es cargado a una tensión nominal de 500V (1J). Cuando un rectificador controlado de silicio (SCR) (Q1 o Q2) es disparado, se produce una corriente de descarga que circula por el devanado primario del transformador correspondiente (T1 o T2) y se transfiere la energía al secundario con valores de tensión y corriente dados por la relación de transformación de estos. De esta forma, al cambiar la tensión de disparo de la bujía solo hay que modificar la relación de transformación de T1 y T2.

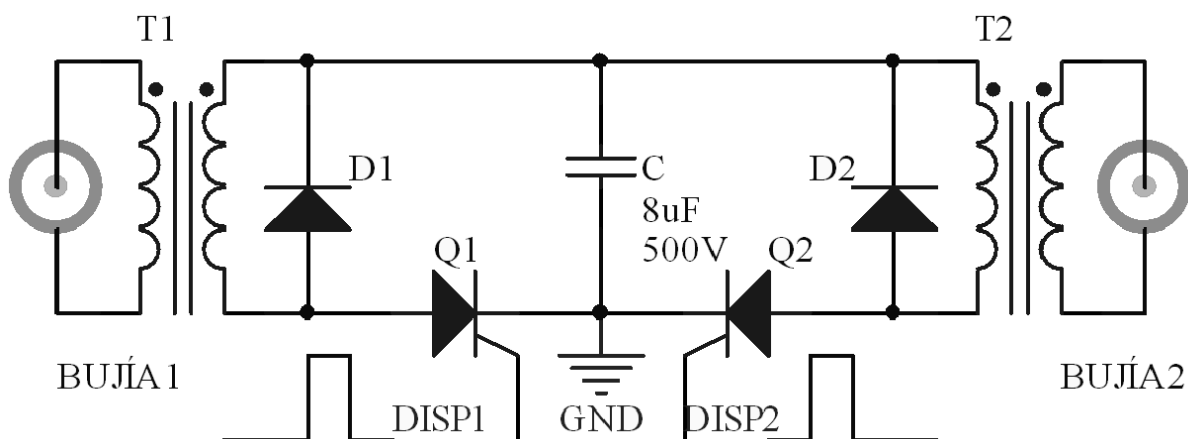


Fig. 10. Circuito de ignición de bujía de descarga superficial BADS.

Para el caso de la BADS, los parámetros del transformador deben ser:

- Relación de transformación (a): 40.
- Inductancia del bobinado primario: $L_{pri}=71,24\mu\text{H}$ (fijado por tiempo de apagado del SCR y periodo del LC).
- Inductancia del bobinado secundario: $L_{sec}= L_{pri} \cdot a^2 = 114 \text{ mH}$.

Utilizando el núcleo EF25/13/7, se obtienen:

- N° de vueltas del primario: 7.
- N° de vueltas del secundario: 280.

9. 9. Comentarios finales

Debido a que el modelo de ingeniería del P4S-2 está diseñado para albergar las bujías calificadas de origen chino, las cuales poseen una rosca M10x1 para su montaje, la BADS posee una rosca de M12x1.25, lo que tiene como consecuencia no solo un cambio en el diámetro del orificio de alojamiento en el cátodo, sino también en su ubicación. De utilizarse la bujía propia, el modelo de ingeniería el P4S-2 sería ligeramente distinto al modelo de vuelo.

Por otra parte, es de vital importancia evitar descargas en regiones de la bujía fuera del área expuesta a la cámara de reacción del propulsor de plasma. Es por ello que la tuerca tope aislante debe poseer un correcto apoyo o contacto sobre la pastilla de PTFE, con el fin de evitar la generación de arcos eléctricos entre los electrodos en el interior de la bujía. Con respecto a los conectores, si bien son de distinta configuración entre sí, ambos son de origen comercial.

9.10. Conclusiones

Se completó la explicación del diseño preliminar de la bujía aeroespacial de Teflón® de fabricación propia BADS, disponiendo los planos de fabricación. La misma está destinada –como alternativa viable a las de fabricación china– para ser utilizada en el modelo de ingeniería del P4S-2, por lo que una vida útil extendida no es una

prioridad. El diseño y construcción de bujías aeroespaciales operativas y calificadas implicaría una dedicación exclusiva al proyecto, siendo actualmente inviable, tanto por razones de costos como de tiempo.

Una vez construidas, las BADS serán sometidas a ensayos, cuyos resultados serán útiles para caracterizar sus *performances*, y así ratificar el diseño o realizar las modificaciones pertinentes.

Como nos habíamos propuesto más arriba, creemos que con la realización de este proyecto no solo alcanzamos los objetivos técnicos que hemos expuesto, sino que además lograremos una innovación social, ya que se persigue también impactar en el bienestar y el desarrollo de las comunidades que habitan el país.

10. Aspectos metodológicos

La metodología que se aplicaría para el desarrollo es de naturaleza experimental casi en su totalidad, ya que no se cuenta con un marco teórico concreto en la bibliografía. En primer lugar, se plantea fabricar una bujía cuyo diseño mecánico está basado en las especificaciones publicadas en [17], las cuales se modificarán en función de los propios requerimientos eléctricos y electrónicos. El siguiente paso consistiría en una campaña de ensayos de la bujía, tanto del dispositivo aislado, así como también integrado en el propulsor, para determinar la performance y posibles problemas de diseño y/o funcionamiento. Basado en los resultados experimentales, se procedería a realizar modificaciones en el diseño, pudiendo fabricar un reducido número de versiones de bujía con algunas variaciones dimensionales y geométricas, con el objetivo de recabar la mayor cantidad posible de datos y experiencia, y así posibilitar un tratamiento estadístico de los resultados. De esta forma, será posible seguir criterios de diseño basados en datos experimentales para producir un modelo definitivo, el cual será ensayado para evaluar su performance en consonancia con los requerimientos del propulsor de plasma pulsante.

11. Plan de trabajo

Nuestro plan de trabajo se compone de los siguientes pasos:

- Diseño de la Bujía Aeroespacial de Descarga Superficial (BADS-MD);
- Construcción del prototipo BADS-MD según el estado del arte;
- Ensayos del prototipo BADS-MD;
- Análisis y evaluación del comportamiento de BADS-MD;
- Ajuste del diseño, del sistema de integración y de los ensayos de la BADS-MD;
- Fabricación del modelo de vuelo BADS-MC;
- Calificación del modelo de vuelo BADS-MC.

11.1. Planificación de tareas

Tareas Etapa 1 (mes 1 a 12)	Tareas Etapa 2 (mes 13 a 24)
<p>1. Reunión Inicial de Proyecto (RIP). Familiarización del equipo del proyecto con los objetivos y metas. Identificación de áreas críticas.</p> <p>2. Compra de materiales para la Bujía Aeroespacial de Descarga Superficial y para Banco de Ensayos. Adquisición de materiales (Acero Inoxidable, Cobre y Teflón) necesarios para la fabricación de componentes de la bujía.</p> <p>3. Diseño y desarrollo del Módulo de Ignición.</p> <p>4. Diseño y fabricación de modelo de desarrollo de Bujía de Descarga Superficial. Desarrollo y ensayos de distintas geometrías y configuraciones para la Bujía BADS.</p>	<p>18. Ensayos Funcionales BADS/MPC. Verificación de funcionamiento de la Bujía en ambiente nominal de alto vacío, con activaciones de corta duración (más de diez minutos).</p> <p>19. Revisión Crítica de Diseño (RCD). Evaluación de los resultados de ensayos funcionales y formulación de eventuales acciones correctivas, con participación de pares externos.</p> <p>20. Ajustes menores de diseño y fabricación de componentes y subconjuntos críticos. Rediseño de los componentes y/o subconjuntos sujetos a acciones correctivas.</p>

<p>5. Diseño de la Bujía/MPC. Investigación en bibliografía sobre diseños existentes de bujías de descarga superficial de Teflón. Confección de los planos constructivos de los componentes.</p> <p>6. Diseño de Banco de Ensayos. Diseño de soporte de Bujías para ensayos en cámara de Alto vacío.</p> <p>7. Fabricación de Banco de Ensayos. Fabricación de componentes y ensamblaje.</p> <p>8. Diseño de transformadores de módulo de ignición y pruebas de poteado con resina, con ensayos de funcionamiento del sistema.</p> <p>9. Desarrollo de módulo de ignición. Diseño y simulación de los circuitos de ignición. Selección y compra de los componentes electrónicos. Armado de transformadores. Diseño y fabricación de los circuitos impresos (PCB).</p> <p>10. Fabricación y ensamblaje de componentes de la Bujía BADS/MPC y Banco de Ensayos. Se procede a la fabricación de los componentes diseñados –a partir de los planos de fabricación de las tareas 3, 4 y 5– y al ensamblaje de los subconjuntos.</p> <p>11. Armado y puesta en funcionamiento del sistema de Vacío.</p> <p>12. Ensayo de las placas electrónicas.</p>	<p>21. Fabricación BADS/MC.</p> <p>22. Ensayos Funcionales BADS/MC. Verificación de funcionamiento de la Bujía en ambiente nominal de Alto Vacío, con activaciones de corta duración (más de diez minutos).</p> <p>23. Ensayos de larga duración BADS/MC. Verificación de funcionamiento de la Bujía en ambiente nominal de Alto Vacío con activaciones de larga duración (menos de ocho horas).</p> <p>24. Ajuste de diseño de componentes y subconjuntos para nivel Calificación Espacial Planos constructivos, topología de circuitos, especificaciones de fabricación e integración, con la documentación técnica asociada.</p> <p>25. Fabricación y ensamblaje de los componentes y subconjuntos nivel Calificación Espacial. Fabricación de los componentes rediseñados a nivel Calificación Espacial y ensamblaje de los subconjuntos asociados.</p> <p>26. Ensayos de calificación de performances y duración de bujía BADS/MC. Realización de ensayos de verificación de <i>performances</i> y de conformidad a especificaciones, respecto de la duración y las condiciones ambientales de lanzamiento y de operación en órbita.</p> <p>27. Revisión Final de Diseño (RFD). Evaluación de</p>
---	---

<p>Realización de pruebas de funcionamiento de los circuitos de alta tensión, ignición y módulo de control en laboratorio.</p> <p>13. Integración del Modelo de Pre-Calificación BADS/MPC. Integración de partes eléctricas/electrónicas y mecánicas de la Bujía BADS.</p> <p>14. Integración del Modelo de Pre-Calificación BADS/MPC al Banco. Diseño y fabricación de acople entre el BADS MPC y el Banco de Ensayos, e integración de los mismos.</p> <p>15. Armado del Sistema de Alto Vacío. Puesta a punto de conexiones entre subsistemas, conexiones internas para adquisición de datos, sensores de vacío, entre otras tareas para lograr el funcionamiento adecuado.</p> <p>16. Integración del BADS/MPC con el banco de ensayo en la Cámara de Alto Vacío. Integración mecánica y eléctrica de la Bujía, integrada al Banco de Ensayos y a la Cámara de Vacío.</p> <p>17. Diseño y construcción del Sistema de Control Automatizado de Ensayos (SCAE).</p>	<p>los resultados de ensayos de larga duración y formulación de eventuales acciones correctivas, según criterios de calidad espacial, y con la participación de pares externos.</p> <p>28. Confección de Memoria Técnica de Calificación de BADS/MC.</p> <p>29. Fabricación e integración de cuatro Bujías Aeroespaciales de Descarga Superficial BADS/MC</p>
--	---

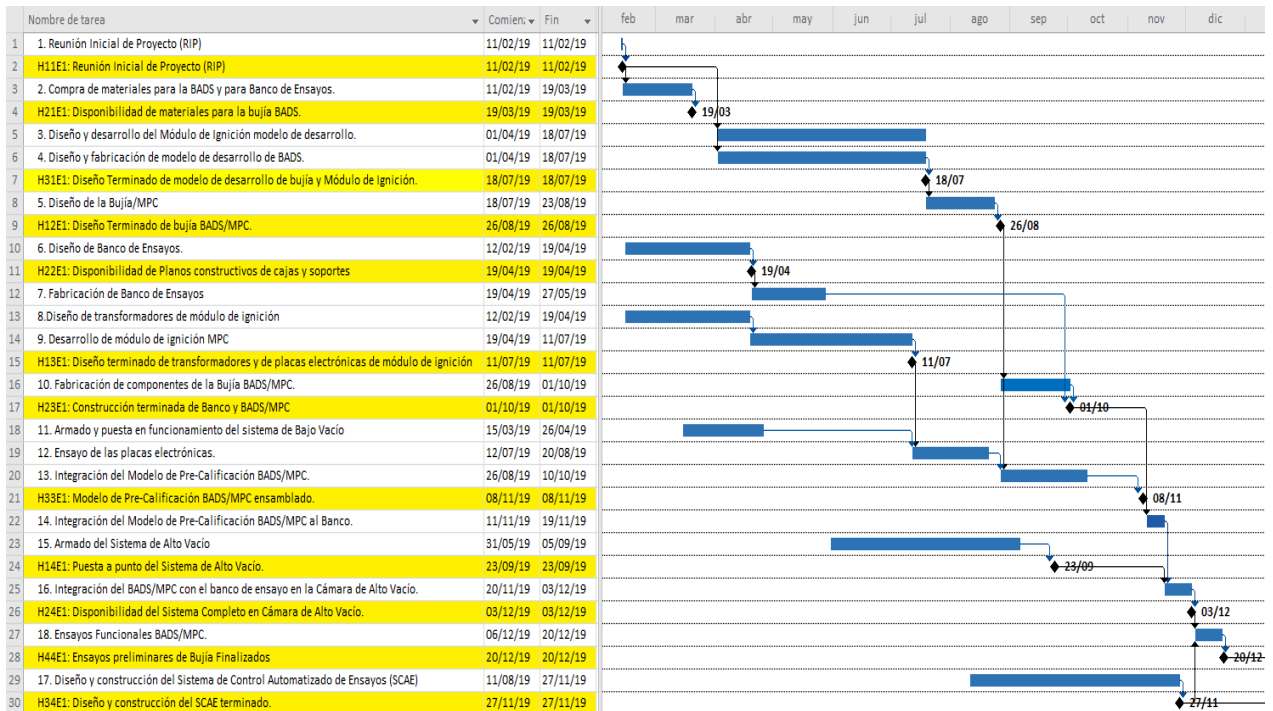
11.2. Hitos por etapa

<p>Etapa 1: Describir los hitos a alcanzar en la primera etapa por trimestre. Asimismo, definir los productos entregables de la etapa, la documentación e informes técnicos involucrados.</p> <p>Trimestre 1:</p> <ul style="list-style-type: none">- H11E1: Reunión Inicial de Proyecto. Definición de objetivos, metas, recursos e identificación de áreas críticas. Tópicos documentados en correspondiente acta de reunión.- H21E1: Disponibilidad de materiales para la BADS. Tener disponible los materiales en las instalaciones del CIA.- H31E1: Diseño de modelo de desarrollo de bujía. Nota Técnica sobre diseño de bujía BADS. Planos constructivos de conjunto y componentes. <p>Trimestre 2:</p> <ul style="list-style-type: none">- H12E1: Diseño de la Bujía BADS/MPC. Nota Técnica sobre diseño de Bujía BADS. Planos constructivos de conjunto y componentes.- H22E1: Disponibilidad de Planos constructivos de las cajas. <p>Trimestre 3:</p> <ul style="list-style-type: none">- H32E1: Diseño terminado de transformadores y de placas electrónicas de módulo de ignición y pruebas	<p>Etapa 2: Describir los hitos a alcanzar en la segunda etapa por trimestre. Asimismo, definir los productos entregables de la etapa, la documentación e informes técnicos involucrados.</p> <p>Trimestre 1:</p> <ul style="list-style-type: none">- H21E2: Integración de BADS/MC (SCAE) en la Cámara de Vacío terminada. Montaje disponible para los ensayos funcionales de la Bujía en Cámara de Alto Vacío, con la documentación técnica asociada.- H31E2: Ensayos Funcionales BADS/MC terminados. Informes de ensayos. <p>Trimestre 2:</p> <ul style="list-style-type: none">- H12E2: Ajuste de diseño de componentes y subconjuntos críticos terminado. Planos constructivos y topología de circuitos, con la documentación técnica asociada.- H41E2: Revisión Crítica de Diseño (RCD). Reseña de especificaciones, planos constructivos, topologías de circuitos, algoritmos, criterios de diseño, etc, para el subsistema. Tópicos documentados en correspondiente acta de reunión. <p>Trimestre 3:</p> <ul style="list-style-type: none">- H13E2: Ensayos Funcionales de BADS/MC terminados. Informes de ensayos.
---	--

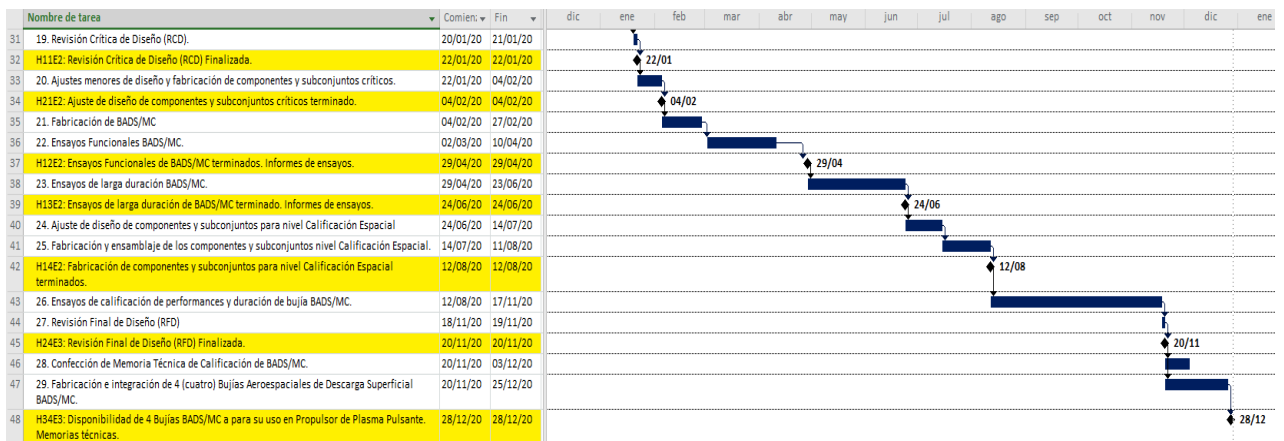
<p>de poteado con resina, con ensayos de funcionamiento del sistema en Bajo Vacío.</p> <p>- H13E1: Modelo de Pre-Calificación BADS/MPC ensamblado. <i>Hardware</i> disponible para su integración.</p> <p>Trimestre 4:</p> <p>- H14E1: Disponibilidad de Cámara de Alto Vacío y Bombas.</p> <p>- H14E1: Puesta a punto del Sistema de Alto Vacío. Cámara de Vacío operativa para ensayos funcionales de Bujía.</p> <p>- H24E1: Disponibilidad de Banco de Ensayos en Cámara de Alto Vacío. Montaje disponible para los ensayos funcionales en Cámara de Alto Vacío.</p> <p>- H34E1: Ensayos preliminares de Bujía con el Módulo de Ignición en Cámara de Alto Vacío.</p> <p>- H54E1: Diseño y construcción del Sistema de Control Automatizado de Ensayos (SCAE) terminado. Diagrama del sistema de acuerdo a especificaciones, con la documentación técnica asociada.</p>	<p>- H23E2: Ensayos de larga duración de BADS/MC terminado. Informes de ensayos.</p> <p>Trimestre 4:</p> <p>- H14E2: Ajuste de diseño de componentes y subconjuntos para nivel Calificación Espacial. Planos constructivos, topología de circuitos, especificaciones de fabricación e integración, con la documentación técnica asociada.</p> <p>- H14E3: Fabricación e Integración de cuatro propulsores de BADS/MC terminados.</p>
---	---

11.3. Cronograma

➤ Etapa 1



➤ Etapa 2



11.4. Factores o circunstancias críticas para el desarrollo del proyecto

11.4.1. Riesgos Tecnológicos

Las dificultades que hemos previsto que podrían ocurrir son las siguientes:

Dificultades Técnicas: 1) Rediseño y construcción del circuito de ignición de la Bujía. Riesgo elevado debido a la escasa experiencia existente en nuestro país respecto a este tipo de material espacial, que deriva en la necesidad de contratar un profesional externo en funciones de asesoramiento, aumentando los costos y retrasando los tiempos del desarrollo. 2) Vida útil de los componentes del circuito de ignición respecto de los requerimientos de la misión; a saber, el empleo de capacitores para que soporten un ciclado de carga/descarga mayor a 2.000.000. 3) Resistencia a la erosión de la Bujía después de 2.000.000 de ciclos de trabajo. 3) Obtención de componentes del circuito de ignición, por ejemplo. los MOSFET de potencia.

Dificultades de financiamiento: 1) Demoras en la provisión de fondos. Todo corrimiento de actividades debido a retrasos en el flujo de fondos se traduce automáticamente en la pérdida de la oportunidad de integración de los subsistemas. 2) Normas administrativas/contables excesivamente rígidas. Dificultad de gran criticidad y de similar incidencia a la anterior en el cumplimiento de los plazos técnicos del proyecto. Dada la extrema complejidad técnica del proyecto propuesto (típico de la tecnología espacial) y los rígidos plazos asociados, la introducción en el desarrollo del mismo de normas administrativas o contables que no contribuyen a la resolución de los inevitables problemas técnicos que se presentan, sólo pueden generar nuevos problemas de naturaleza no técnica cuya resolución inevitablemente involucra corrimientos de plazos. 3) Corrida cambiaria (inestabilidad del valor del dólar).

Dificultades Institucionales: 1) Discontinuidad en políticas de I+D. Puede darse tanto a nivel de las unidades ejecutoras como al máximo nivel gubernamental. Esta “falla” es una constante estructural en Argentina y su incidencia en la obtención de objetivos como los propuestos en este proyecto es de naturaleza catastrófica. Los efectos cuando se producen al menor nivel pueden ser mitigados mediante la adecuada formalización de convenios con las instituciones que aportarán personal, instalaciones y equipos para la realización de este proyecto, destinados a asegurar la disponibilidad de tales recursos independientemente de las contingencias específicas en cada una de ellas.

11.4.2. Posibles incidencias en el medioambiente

No se esperan impactos apreciables durante las fases de diseño, fabricación, ensamblaje e integración de componentes, conjuntos, subsistemas o sistemas. Respecto de la fase de ensayos de operación en ambiente espacial de la Bujía (BADs), las únicas emisiones a considerar son las correspondientes al aire evacuado para mantenimiento del nivel de vacío requerido, conteniendo trazas del orden de 20 µg/s de gases residuales de descomposición del PTFE, durante lapsos de funcionamiento inferiores a 10 h/día a lo largo de aproximadamente 100 días de ensayos de larga duración.

Respecto al impacto ambiental local (área próxima al lugar de ensayo), ya existen previsiones sobre las condiciones de Higiene y Seguridad Industrial de los locales de trabajo ubicados en instalaciones de FAdA S.A., que cuentan con canalizaciones de volátiles hacia el exterior de los mismos. En este caso particular, se trata únicamente del aire extraído de la cámara de trabajo por las bombas de vacío operando durante los ensayos; el total de los gases residuales inyectados en la atmósfera representarán del orden de $1 \cdot 10^{-18}$ de su masa (1 parte/trillón).

11.5. Plan de transferencia y reserva de propiedad intelectual

El producto tecnológico objeto de esta propuesta, con la documentación técnica asociada, será oportunamente transferido a la Institución Beneficiaria para su utilización en las plataformas satelitales que la misma decida desarrollar y operar, de acuerdo a los lineamientos estratégicos del Sistema de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Argentina – Área Espacial.

Durante el desarrollo del prototipo se generarán con toda probabilidad, técnicas y procesos de fabricación que pueden ser susceptibles de patentamiento. No se contempla la posibilidad de registro de marcas y patentes en cuanto se refiere al producto o productos desarrollados; sí se prevé la posibilidad de hacer reserva de propiedad intelectual de alguno de los procesos, técnicas o *know-how* referido a partes del proceso integral de fabricación. Se considera que la estrategia de protección más eficaz reside en procurar, mediante una política agresiva de I+D, mantener permanentemente varios pasos de avance tecnológico y en innovación respecto a la eventual competencia.

11.6. Impactos del proyecto

11.6.1. Impactos científico-tecnológicos

- Desarrollo de capacidades en la Institución Ejecutora: este proyecto permitirá incrementar las capacidades tanto en recursos humanos como en materiales, así como incorporar otras relacionadas con técnicas en: análisis y evaluación de performances de Bujía espacial; diseño, construcción y ensayos de módulos electrónicos de alta potencia; análisis y evaluación del comportamiento de plasmas para efectos propulsivos; análisis y diseño de configuraciones de campo electromagnético para efectos propulsivos.

- Desarrollo de capacidades en la Institución Beneficiaria: la Institución

Beneficiaria se verá dotada de la capacidad de utilizar bujías de origen “nacional” para ser empleadas en sistemas de propulsión destinados a maniobras en órbita del microsatélite y futuros satélites de aplicación militar, en particular: mantenimiento de órbita (*station keeping*), control de actitud y cambio de órbita. Tales capacidades son, a su vez, habilitantes de conceptos de alta efectividad, tales como la conformación de “enjambres” (vuelo en formación) o de constelaciones (uniforme distribución en planos orbitales) de micro/nano-satélites, e inclusive trayectorias de escape para misiones interplanetarias.

- Disciplinas o campos de aplicación favorecidos:
 - Propulsión Eléctrica/Electromagnética Espacial.
 - Electrónica de Potencia/Alta Tensión, calidad espacial.

11.6.2. Impactos operativos

No se vislumbran impactos operativos a corto plazo (es decir, en menos de dos años), dados los plazos estipulados de puesta a punto y ensayos de calificación del subsistema.

En el mediano plazo (más de seis años) se estima que los resultados de este proyecto podrían tener los siguientes impactos operativos:

- Capacidad de maniobra de micro/nano-satélites de observación de la Tierra, de alta resolución espacial (aprox. 10 m/pixel), mediante mantenimiento de órbita heliosincrónica (aprox. 700km), durante un período de diez años.
- Garantía de tiempo de vida de micro/nano-satélites en plazos del orden de los diez años, manteniendo todos los sistemas con los niveles de alimentación requeridos.

- Capacidad de maniobra de micro/nano-satélites para conformación de “enjambres” o “constelaciones” de aplicaciones militares diversas, y mantenimiento de posición relativa orbital, incluyendo posibilidad de “de-orbitación”.
- Propulsión auxiliar de satélites en general, para descarga (*unloading*) de volantes de inercia y/o de ruedas de reacción de los sistemas de control de actitud.

11.6.3. Impactos socio-económicos

- Posibilidades de producción en serie y generación de empleo:

Las posibilidades de producción en serie se vinculan al mercado potencial inmediato del subsistema a desarrollar, que es el de los propulsores de plasma pulsante para “embarcar” en satélites de distintos tipos y tamaños, destinados a aplicaciones diversas. Sin embargo, se puede ser más específico e identificar, como primer mercado de avance, el de micro/nano-satélites, que a corto plazo deberán disponer de capacidad de “de-orbitación” o frenado, para reducir el riesgo de proliferación de “basura espacial”.

En la medida que se avance en el desarrollo del proceso de comercialización y se produzca la inserción en el mercado internacional, con base en una permanente y vigorosa acción de I+D, se podrán desarrollar productos derivados de diversas configuraciones y mejor desempeño, lo que permitirá avanzar sobre otros sectores del mercado espacial, determinando el crecimiento físico de la planta de producción y la consiguiente generación de nuevos puestos de trabajo de alta calificación científica y tecnológica.

- Divulgación de los conocimientos científicos alcanzados:

Se prevé la divulgación de resultados que pudieran alcanzarse mediante la modalidad de presentación de trabajos en congresos tanto a nivel regional y nacional, como en publicaciones de carácter internacional. Se considera la concurrencia a estos eventos científico-tecnológicos en el área satelital y, más específicamente, a algunos de propulsión espacial, de fundamental importancia por el elevado potencial de actualización que estos representan, y por la posibilidad concreta de interactuar con especialistas en dicha disciplina y, no menos importante, con proveedores de componentes y equipos de alta especificidad, en particular bujías de ignición de motores de plasma y capacitores de alta tensión de alta densidad de energía.

11.7. Recursos, infraestructura y equipamientos existentes para el desarrollo del proyecto

11.7.1 En la institución beneficiaria del subsidio

INFRAESTRUCTURA / ESPACIOS			
TIPO	DESCRIPCIÓN	UBICACIÓN O DEPENDENCIA	AUTORIDAD CON RESPONSABILIDAD SOBRE EL ESPACIO
Oficina	Jefatura de Proyectos	Pab. 025/CIA	Roque De Alessandro
Laboratorio	Área de Electrónica de Potencia	Pab. 025/CIA	Roque De Alessandro
Laboratorio	Área de Propulsión Eléctrica	Pab. 025/CIA	Roque De Alessandro
Laboratorio	Sala "Blanca" Clase 10000 de integración de Equipos y Sistemas	Pab. 122/CIA	Marcos A. Brito
Oficina	Área de Mecánica y Diseño Espacial	Pab. 214/CIA	Enrique N. Calcagni
Oficina	Área de Calidad, Materiales y Procesos	Pab. 214/CIA	Enrique N. Calcagni

Oficina	Área de Metrología Láser y Preparación de Ensayos	Pab. 214/CIA	Carlos Alberto Vitulich
Taller	Área de Fabricación y Ensamblado Mecánicos	Pab. 214/CIA	Carlos Alberto Vitulich
Laboratorio	Área de Integración y Verificación	Pab. 214/CIA	Roberto Garay
Taller	Área de Fabricación y Ensamblado de Componentes Electrónicos.	Pab. 122/CIA	Santiago Rodriguez Gonzalez
EQUIPAMIENTO			
TIPO	DESCRIPCIÓN	UBICACIÓN O DEPENDENCIA	AUTORIDAD CON RESPONSABILIDAD SOBRE EL EQUIPO
Computación	PC – i5 (2 GB RAM, 350GB HD, Monitor 17”, impresora multifunción)	Pab. 214/CIA	Marcos A. Brito
Computación	PC – i3 (2 GB RAM, 350 GB HD, Monitor 15”, impresora multifunción)	Pab. 214/CIA	Claudia Estevez
Computación	PC – i7 (8GB RAM, 300 GB HD, Monitor 17”, impresora multifunción)	Pab. 025/CIA	Roque De Alessandro
Computación	PC – i7 (8GB RAM, 300 GB HD, Monitor 15”, impresora multifunción)	Pab. 025/CIA	Roque De Alessandro
Computación	PC – i7 (8GB RAM, 300 GB HD, Monitor 15”, impresora multifunción)	Pab. 025/CIA	Roque De Alessandro
Computación	PC – i5 (8 GB RAM, 300 GB HD, Monitor 15”, impresora)	Pab. 025/CIA	Roque De Alessandro
Computación	Notebook, 256 MB RAM, 30 GB HD, Pantalla 12”	Pab. 122/CIA	Marcos A. Brito
Computación	Notebook, 128 MB RAM, 20 GB HD, Pantalla 15”	Pab. 214/CIA	Marcos A. Brito
Instrumento	Banco de Empuje de Lámina Resonante (BEE-1)	Pab. 214/CIA	Carlos Alberto Vitulich

Instrumento	Banco de Empuje Bi-Lámina Resonante (BEE-2)	Pab. 214/CIA	Carlos Alberto Vitulich
Instrumento	Generador de señales Tipo 191. N° 2745, TEKTRONIX.	Pab. 025/CIA	Roque de Alesssandro
Instrumento	Plaqueta de adquisición digital tipo PCMCIA, Cyber Research PCCDAS 1616, 16 canales 16 bit 200K muestras/s	Pab. 214/CIA	Roque de Alesssandro
Instrumento	Placa de adquisición de datos USB NIDAQ USB-6211	Pab. 025/CIA	Roque de Alesssandro
Instrumento	Plaqueta de adquisición de datos Cyber Research PCL 818 HG	Pab. 025/CIA	Roque De Alessandro
Software	CATIA – Representación asistida por computadora	Pab. 214/CIA	Carlos Alberto Vitulich
Software	LabVIEW 13.0 – Adquisición, análisis, procesamiento y presentación de señales digitales	Pab. 122/CIA	Roque de Alesssandro
Software	VISSIM – Simulación numérica de sistemas Discretos lineales y no-lineales	Pab. 214/CIA	Marcos A. Brito
Software	COMSOL 5.3– Simulación de sistemas Continuos por el método de los elementos finitos	Pab. 214/CIA	Carlos Alberto Vitulich
Software	MAXIMA – Procesamiento simbólico y/o numérico de expresiones matemáticas.	Pab. 122/CIA	Marcos A. Brito
Instrumento	Generador de funciones AFG-3051	Pab. 025/CIA	Roque De Alessandro
Instrumento	Generador de funciones AFG-2105	Pab. 025/CIA	Roque De Alessandro

Equipo	Estación de soldado con aire caliente Hony 908, HONY	Pab. 025/CIA	Roque De Alessandro
Equipo	Estación de soldadura ST 25E W/PS-90, con regulación de temperatura, marca PACE.	Pab. 025/CIA	Roque De Alessandro
Instrumento	Generador de funciones AFG-2105	Pab. 025/CIA	Roque De Alessandro
Instrumento	Punta de alta tensión para osciloscopio P6015	Pab. 025/CIA	Roque De Alessandro
Instrumento	Punta de alta tensión para multímetro HVP-40, 40kV, marca PINTEK	Pab. 025/CIA	Roque De Alessandro
Instrumento	Pinza amperométrica AC/DC para osciloscopio 1146A	Pab. 025/CIA	Roque De Alessandro
Instrumento	Microscopio	Pab. 214/CIA	Carlos Alberto Vitulich
Instrumento	Balanza de Precisión OHAUS	Pab. 214/CIA	Enrique Calcagni
Instrumento	Cámara de vacío 1.0E-3 Torr	Pab. 214/CIA	Roberto Garay
Instrumento	Vibradora LING, 2kN max., 100g, 5 a 3000 Hz	Pab. 214/CIA	Roberto Garay
Instrumento	Balaceadora SHENK-E4, 4 kN max., 30 a 300 rpm	Pab. 214/CIA	Roberto Garay
Instrumento	Luxómetro digital TM-201, marca TENMARS.	Pab. 025/CIA	Roque De Alessandro
Instrumento	Vibrómetro láser IVS-400, marca POLYTEC	Pab. 122/CIA	Carlos Alberto Vitulich
Instrumento	R-L-C Meter U1732A, marca AGILENT	Pab. 025/CIA	Roque De Alessandro
Instrumento	Termómetro Infrarojo Inalámbrico DeWalt DCT414	Pab 122/CIA	Marcos Brito
Máq. Herramienta	Centro de Mecanizado SHAUBLIN 36 CNC	Pab. 121/CIA	Gustavo González

Máq. Herramienta	Fresadora universal MAHO MH 440 P	Pab. 214/CIA	Roberto Garay
Máq. Herramienta	Electroerosionadora CHARMILLES	Pab. 121/CIA	Gustavo González
Máq. Herramienta	Tornos convencionales SCHAUBLIN 120, 150	Pab. 121/CIA	Gustavo González
Máq. Herramienta	Rectificadora TRIPET 120	Pab. 121/CIA	Gustavo González
Máq. Herramienta	Fresadora universal SHAUBLIN 13	Pab. 121/CIA	Gustavo González
Máq. Herramienta	Router CNC Redsail RS-3040	Pab. 122/CIA	Santiago Rodríguez González

11.7.2. En otras instituciones participantes

- FAdeA S.A.

LABORATORIO INGENIERÍA DE MATERIALES			
Áreas Técnicas	Ensayos y Análisis	Materiales	Equipos
Análisis de fallas y fractomecánica	Estudio de fractura, incluyendo microscopía electrónica. Metalografía óptica. Análisis químicos por espectrometría de emisión óptica. Mediciones de dureza de banco y portátil, ensayo de tracción, ensayo Charpy. Revisión de antecedentes propios y de bibliografía. Consulta de normas. Encuadramiento y equivalencia de materiales.	Piezas de: Aceros al carbono. Aceros de baja y media aleación. Aceros inoxidables. El aluminio y sus aleaciones. Cobre y sus aleaciones. Níquel y sus aleaciones. Titanio y sus aleaciones. Materiales compuestos. Fundiciones grises, blancas y nodulares.	Espectrómetro de emisión óptica Baird Spectrovac. Lupa Carl Zeiss Stemi 2000-C. Lupa digital Nisuta. Microscopio óptico Olympus Tokyo con visor digital. Máquinas de Tracción Shimadzu Autograph DCS-25Tn, Shimadzu Autograph DCS-500kg, Shimadzu Autograph AGS-X 5kN. Microscopio electrónico barrido FE-SEM Σigma. Durómetros Future-Tech Lc-200RB (Rockwell-Brinell) y GNEHM OM250 (Rockwell Brinell-Vickers). Máquina de impacto AMSLER-WOLPERT D-6700(Charpy – Izod).
Ensayos físico-químicos	Análisis químicos cualitativos y	Aceros al carbono. Aceros de baja y	Espectrómetro de Emisión Óptica Baird Atomic.

	<p>cuantitativos por método espectrofotométrico.</p>	<p>media aleación. Aceros inoxidables. El aluminio y sus aleaciones. Cobre y sus aleaciones. Fundiciones grises.</p>	
	<p>Absorción de Agua. Adherencia. Aptitud al pegado. Brillo. Capilaridad. Color. Combustibilidad. Comportamiento al calor / al calor húmedo / al frío / al rechazo de agua / al roce. Compresión. Deformación remanente y residual. Densidad. Dureza (SHORE y ROCKWELL). Ensuciado y facilidad de limpieza. Envejecimiento acelerado / por calor / por humedad. Estabilidad al calor. Flexión / Flexión bajo carga. Fogging test. Identificación del material por Índice de fluidez. Inflamabilidad. Peso. Portanza. Punto de fusión. Residuo por calcinación. Resiliencia IZOD. Resistencia a la agresión atmosférica / a la radiación UV / a las bajas temperaturas / a los ciclos térmicos / a los</p>	<p>En materiales tales como : Pinturas, Primers, Esquemas especiales, Telas, Cintas, y Cordones, Aceites y grasas Lubricantes, Combustibles, Kerosenes, solventes, Thinners, Sellantes, Hermetizantes, Elastómeros, Plásticos, Materiales Compuestos.</p>	

	detergentes y agentes de limpieza. Tracción. Corrosión: Evaluación de la velocidad de corrosión por pérdida en peso. Determinación de métodos de protección contra la corrosión, protección catódica, revestimientos metálicos e inorgánicos, inhibidores, etc.		
Mecánicos	Ensayos de: Tracción. Compresión, Impacto Charpy e Izod. Flexión, Dureza Brinell, Rockwell, Vickers. Resistencia de la unión soldada. Dureza Shore A, B, D, Perfil de microdureza. Embutido Erichsen. Ensayos de Fatiga, Cíclicos, etc.	Aceros al carbono. Aceros de baja y media aleación. Aceros inoxidables. Fundiciones grises del aluminio y sus aleaciones. Cobre y sus aleaciones. Telas, hilos, cintas y cordones de paracaídas. Elastómeros y Adhesivos. Resortes, elásticos. Cajas de resortes, actuadores, eslingas, etc.	Microdurómetro Shimadzu. Máquinas de Ensayos Universales Shimadzu Autograph DCS-25Tn, Shimadzu Autograph DCS-500kg, Shimadzu Autograph AGS-X 5kN. Durómetros Future-Tech Lc-200RB (Rockwell-Brinell) y GNEHM OM250 (Rockwell-Brinell-Vickers). Máquina de impacto AMSLER-WOLPERT D-6700(Charpy – Izod).
Metalografía	Microscopía Óptica: Caracterización de la estructura metalográfica (fases, inclusiones etc.). Estudio de defectos. Análisis de fallas. Caracterización de	Aceros al carbono. Aceros de baja y media aleación. Aceros inoxidables. Fundiciones grises, blancas y	Lupa estereoscópica Carl Zeiss Stemi 2000-C. Lupa digital Nisuta. Microscopio óptico Oympus tokyo con visor digital. Microscopio electrónico barrido FE-SEM Σigma.(LANMARS) Cortadoras ultra rápida de muestras metálicas Prazis y Metco

	<p>materiales. Microscopía electrónica y análisis EDS: Conteo y análisis EDS de inclusiones. Estudio de recubrimientos sobre metales. Caracterización de particulados. Estudios fractográficos. Evaluaciones de soldador/ soldaduras, defectos. Espesor de recubrimientos galvánicos u orgánicos. Protecciones superficiales, limpieza química, etc. Análisis de Tratamientos térmicos, defectos, etc. Corrosión: Verificación de susceptibilidad a la corrosión intergranular de aceros inoxidable. Determinar susceptibilidad a la corrosión intergranular y pitting sobre aluminio. Selección de materiales resistentes a la corrosión. Consultoría en selección y sustitución de materiales.</p>	<p>nodulares. El aluminio y sus aleaciones. Cobre y sus aleaciones. Níquel y sus aleaciones. Titanio y sus aleaciones. Materiales compuestos.</p>	<p>Baincut-Medium. Cortadora ultra lenta para cortes especiales Bühler Isomet</p> <p>Máquinas pulidoras semi automáticas Bühler Ecomet III y Marex VH151.</p> <p>Máquina lijadora de banda Buehler Duomet II Belt Surf Acer.</p> <p>Empastilladora a presión Metkon Ecopress 50.</p>
--	--	---	--

LABORATORIO DE ENSAYOS ESTRUCTURALES

Áreas Técnicas	Ensayos y Análisis	Equipos
Mecánica	Aplicación de cargas	40 Actuadores Hidráulicos. Capacidades de carga: 25kN (2 din / 5 est), 50kN (14 din / 5 est), 100kN (18din), 160kN (3

		din), 250kN (5 din). Capacidad de desplazamiento 250 y 500 mm. Sistema Universal Tracción / Compresión 50 ton. Canales Acondicionadores. 15 Controladores Estáticos de Carga. 10 Controladores Dinámicos Carga-Desplazamiento. 6/8 Canales Simultáneos. 3 Bombas Hidráulicas 210 bar-
Electrónica	Adquisición de datos	176 Canales para Strain Gauges. 8 Canales para Transductor Desplaz. LVDT. Canales para Celdas de Carga. 16 Canales Generales input voltage. 12 Transductores desplazamiento voltaje, acondicionados 0-1200 mm.
Físicos	Ensayos ambientales	Cámara de temperatura programable, Tiempo temperatura ambiente -59°C = 1,5 horas, Tiempo temperatura ambiente +147°C = 1,5 horas. Cámara de vacío pequeñas piezas. Cámara de vacío para alto vacío.
Mecánicos	Vibraciones	Canal Shaker para vibración patrón (peso 1,5kg/50Hz-1500Hz/15g). Canal Shaker vibraciones / choque (peso 12kg/50Hz – 1500Hz/15g).
	Banco de freno	Banco para avión Pampa y aviones de bajo porte.
	Peso y centrado de aeronaves	Pesaje por celdas (3 x 5 klbf ; 3 x 10 klbf ; 3 x 50 klbf). Pesaje por plataforma (3 x 10 klbf).
Calibraciones	Sistema patrón de cargas	3 Equipos Acondicionador Patrón. Celdas de Carga Patrón de 100, 50, 25, 10 y 5 klbf. Celdas Tipo S de 10kN, 1klbf, 250kg y 200N.
	Ensayo de equilibrado	Equipo centrífugo con control de velocidad.

11.8. Presupuesto

Rubros	Costo (AR\$) 1° Etapa	Costo (AR\$) 2° Etapa
Insumos	1428000	288000
Equipamiento	648000	300000
Servicios técnicos terceros	432000	360000
Viajes y viáticos	400000	400000
Total	2908000	1348000

12. Bibliografía

- [1] Maglione, S.; Elaskar, S. y Brito, H., “Solución de las ecuaciones de la magnetogasdínámica bidimensionales mediante un esquema TVD.” *Mecánica Computacional*, Vol. 21, pp. 55-66 (ISSN 1666-6070), 2002.
- [2] Brito, C.; Elaskar, S.; Brito, H. and Paoletti, N., “Zero-dimensional analytical model for preliminary design of Teflon pulsed plasma thruster”, *Journal of Propulsion and Power*, Vol. 20, No. 6, Nov-Dic 2004, pp. 970-977.
- [3] Brito, H., De Alessandro, R., Dominguez, C., Calcagni, E., Galián, E., “P4S-1 Solid Propellant Pulsed Plasma Thruster – Development Tests,” IAC-Paper 06-C4.P.4.08, 57th International Astronautical Congress (IAC), organizado por International Astronautical Federation (IAF), Valencia, España, 02-06/10/2006.
- [4] Saravia, M., Brito, H. H., “Simulación Térmica del Sistema de Ignición de un Motor MPD de Propelente Sólido”, *Nota Técnica VES No. 04/12*, IUA-CIA, Córdoba, Abril 2012.
- [5] Vitulich, A., Saravia, M., Brito, H., “Modelo inestacionario para estimación de performances de Propulsores de Plasma Pulsante Ablativos”, publicado en el Tercer Congreso Argentino de Ingeniería Aeronáutica, CAIA 3, La Plata, 12-14 Noviembre de 2014.
- [6] Vitulich, A., Saravia, M., “Modelo inestacionario para estimación de performances de Propulsores de Plasma Pulsante Ablativos”, *Nota Técnica 31/14*, CIA-DGID, Córdoba, 2014.
- [7] Gómez, M., De Alessandro, R., “Rediseño de Módulo de Ignición de Propulsor de Plasma Pulsante de Propelente Sólido P4S-1”, VIII Congreso Argentino de Tecnología Espacial. Mayo 6-8, 2015. Buenos Aires, Argentina.

- [8] Gómez, M, De Alessandro, R., “Rediseño de Módulo de Ignición de Propulsor de Plasma Pulsante de Propelente Sólido P4S-1”, Nota Técnica 29/14, CIA-DGID, Córdoba, 2014.
- [9] Vélez, D., Rossa, P., De Alessandro, R., “Desarrollo de procedimiento de ensayo de un Propulsor de Plasma Pulsante bajo entorno LabVIEW”, publicado en el VII Congreso Argentino de Tecnología Espacial, Mendoza, 15-17 Mayo 2013.
- [10] Vitulich, A., Gómez, M., "Ensayos de Funcionamiento del Modelo de Desarrollo del Propulsor de Plasma Pulsante de Propelente Sólido P4S-1 en Simulador Espacial" publicado en el IX Congreso Argentino de Tecnología Espacial, Córdoba, 26-28 Abril 2017.
- [11] Saravia, M., Brito, H., “Re-dimensionamiento de Propulsor de Plasma Pulsante de Propelente Sólido”, Nota Técnica VE 12/13, IUA-CIA, Córdoba, Marzo 2013.
- [12] Vitulich, A., Saravia, M., “Rediseño del Propulsor de Plasma Pulsante de Propelente Sólido Ablativo P4S-2”, Nota Técnica 30/14, CIA-DGlyD, Córdoba, 2014.
- [13] Gómez, M, De Alessandro, R., Módulo de Ignición del Propulsor de Plasma Pulsante de Propelente Sólido P4S-2”, Nota Técnica (en revisión), CIA-DGlyD, Córdoba, 2017.
- [14] Gómez, M, De Alessandro, R., “Fuente de Alta Tensión del Propulsor de Plasma Pulsante de Propelente Sólido P4S-2”, Nota Técnica (en revisión), CIA-DGlyD, Córdoba, 2017.
- [15] Vitulich, A., Gómez M., “Diseño del Modelo de Ingeniería de Propulsor de Plasma Pulsante Ablativo P4S-2”, publicado en la Reunión bianual IEEE “ArgenCon 2016”, organizado por el IEEE-Sección Argentina, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, 15-17 Junio 2016.

- [16] Vitulich, A., "Evaluación de Performances, Prediseño Conceptual y Diseño Mecánico de Modelo de Ingeniería del Propulsor de Plasma Ablativo P4S-2", Trabajo Final de la carrera de Ingeniería Aeronáutica, FCEFyN UNC, Córdoba, Diciembre 2016.
- [17] Xue-Zhang Fang, Han-Ji Wu; Spark Plug for Pulsed Plasma Thruster, Academia Sinica, Beijing, China, Paper AIAA-87-1048, Mayo 1987/Colorado Springs, Colorado.
- [18] Vitulich, A., Gómez, M., Brito H., "Diseño de Bujía Aeroespacial de Descarga Superficial del Propulsor P4S-2-Modelo De Ingeniería" Nota Técnica 16/16, CIA-DGlyD, Córdoba, 2016.
- [19] Gómez, M., De Alessandro, R., "Rediseño de Módulo de Ignición de Propulsor de Plasma Pulsante de Propelente Sólido P4S-1" Nota Técnica 24/14, CIA-DGlyD, Córdoba, 2014.
- [20] Clark, Craig; Guardurcci, Francesco; Coletti, Michelle; Gabriel, Stephen B.: An Off-the-shelf Electric Propulsion System for CubeSats, SSC11-VI-12.
- [21] Mingo Pérez A., Coletti M., Gabriel S. B.; A micro PPT for Nano-satellite applications: Design and Experimental Results, 48th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit, 30 July - 01 August 2012, Atlanta, Georgia.
- [22] Balmain, K. G.; Dubois, G. R.; Surface Discharges on Teflon, Mylar and Kapton, Department of Electrical Engineering, University of Toronto, IEEE Transactions on Nuclear Science, Vol. NS-26, No. 6, December 1979.
- [23] Ing. Eugenio S. Galian; Pedro Fabián Pomilio: Procedimiento de Identificación de Documentación, Planos y Componentes del Proyecto μ SAT-3 FAS-1400, Comunicación Técnica N° 44/2013, Departamento Vehículos Espaciales, Centro de Investigaciones Aplicadas.

13. Anexos

1. Anexo primero



Fig. 1. Vista general del simulador espacial Tenney

El simulador espacial Tenney es un dispositivo que permite alcanzar en su interior condiciones de ambiente de alto vacío –muy baja presión y temperaturas extremas–, permitiendo así, la simulación de condiciones similares a las que se ven sometidos los satélites puestos en órbita. Dentro de la cámara es posible ensayar distintos componentes y sistemas, e incluso pequeños satélites completos, tal como el microsatélite uSAT-3.

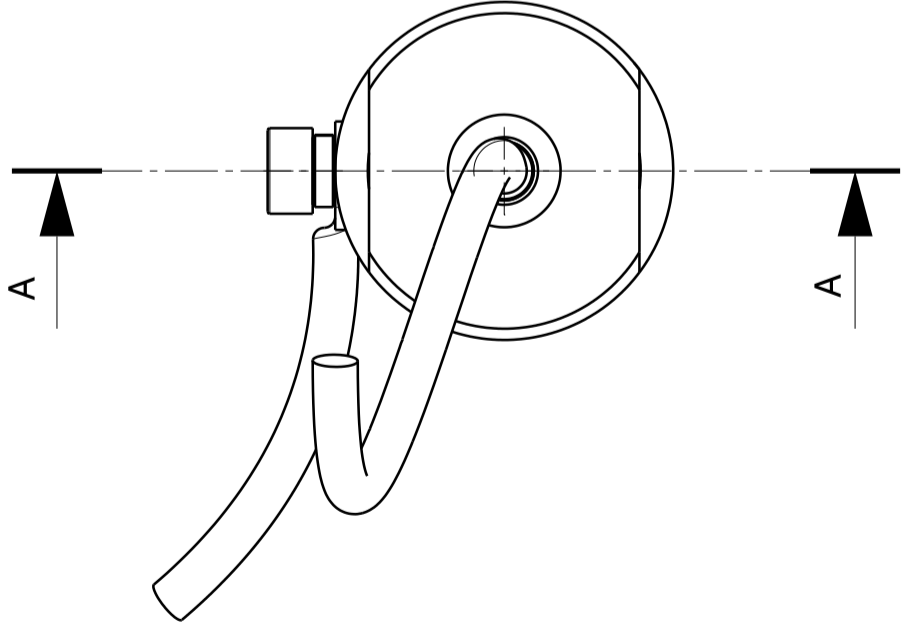
La cámara propiamente dicha es un recipiente cilíndrico con una puerta de acceso en un extremo, dispuesto horizontalmente y construido totalmente en acero

inoxidable AISI 304. En su superficie interior posee un cilindro de cobre con un serpentín, dentro del cual puede fluir tanto nitrógeno líquido o nitrógeno gaseoso, según se requiera un ambiente de baja o alta temperatura, respectivamente. El sistema de bombeo consta de una bomba mecánica de pre vaciado y una bomba difusora –bomba de alto vacío–, la cual está integrada al conjunto en su base, Fig. 1. Finalmente, presenta tuberías complementarias, válvulas y sistema de control de presión y temperatura. A continuación se detallan las características técnicas principales de la cámara.

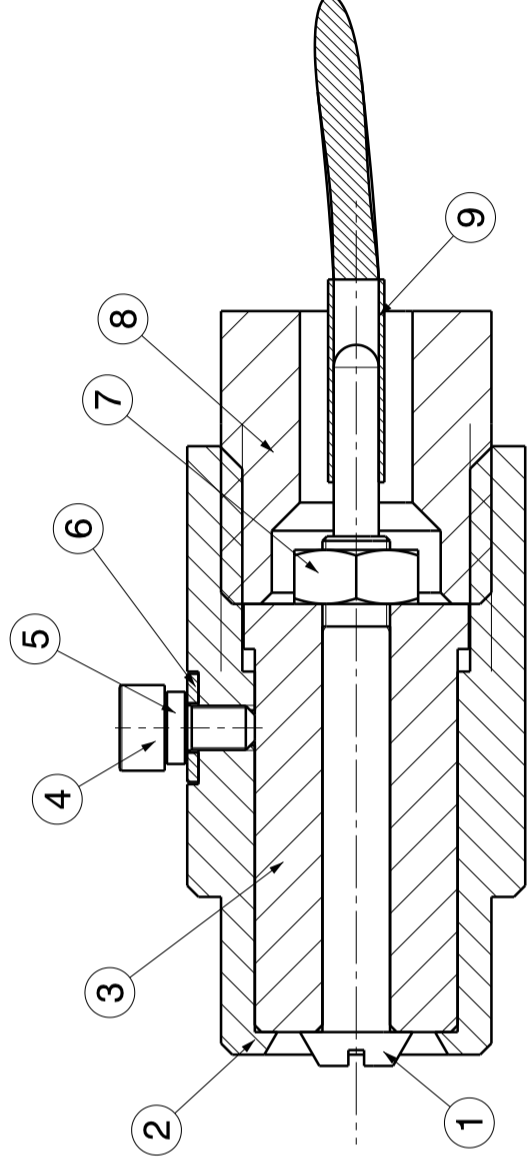
Características Técnicas:

- Dimensiones de cámara de ensayos: 810 mm de diámetro x 1520 mm de longitud. Presión mínima nominal: 510^{-8} mmHg (equivalente a 400 Km de altitud), presión alcanzable solamente mediante el funcionamiento de las bombas de vacío en conjunto con el sistema de temperatura, y en estado de baja temperatura.
- Tiempo de evacuación: 510^{-7} mmHg en cinco horas (cámara limpia, vacía y acondicionada).
- Temperaturas alcanzadas: panel enfriado con nitrógeno líquido: -150°C y panel calentado con nitrógeno gaseoso: 125°C
- Tiempo de enfriamiento/calentamiento: temperatura ambiente a -150°C en tres horas y temperatura ambiente a $+125^{\circ}\text{C}$ en una hora.

2. *Anexo segundo*



Vista Isométrica
Escala: 1:1



Sección A-A

TOLERANCIAS GENERALES			
Angulos	≤30°	30° a 120°	<120°
	±30°	±20°	±10°
Diámetro y Largo	0-6	6-30	30-120
	±0.1	±0.15	±0.2
		±0.2	±0.2
		315-1000	>1000
		±0.2	±0.2

Orden	Cant.	Designación	Material	Nº de parte	Nº Plano
1	1	Anodo Bujía	Inox. 304	ZGSATX-641000A01A	
2	1	Cátodo Bujía	Inox. 304	ZGSATX-641000A02A	
3	1	Buje Dieléctrico	PTFE(Teflon)	ZGSATX-641000A03A	
4	1	Tornillo M2	Inoxidable	Comercial	
5	1	Arandela Grower	Inoxidable	Comercial	
6	1	Conector Plano	Cobre	Comercial	
7	1	Tuerca M2	Inoxidable	Comercial	
8	1	Tuerca tope	Acrílico	ZGSATX-641000A04A	
9	1	Cable conector	Inoxidable	Comercial	



Centro de Investigaciones Aplicadas

DIBUJÓ:
Carlos A. Vitulich

FECHA
11/03/2016

REVISÓ:

APROBÓ:
Ing. H. H. Brito



DIRECCIÓN GEN. DE INVEST. Y DESARROLLO
FUERZA AÉREA ARGENTINA

CONJUNTO BUJÍA AEROSPAECIAL
DE DESCARGA SUPERFICIAL

NÚMERO DE PARTE
ZGSATX-641000A00B

ESCALA 3:1 CANTIDAD 4 MATERIAL: Indicado

H

G

F

E

D

C

B

A

4

3

2

1

◀

∞

∩

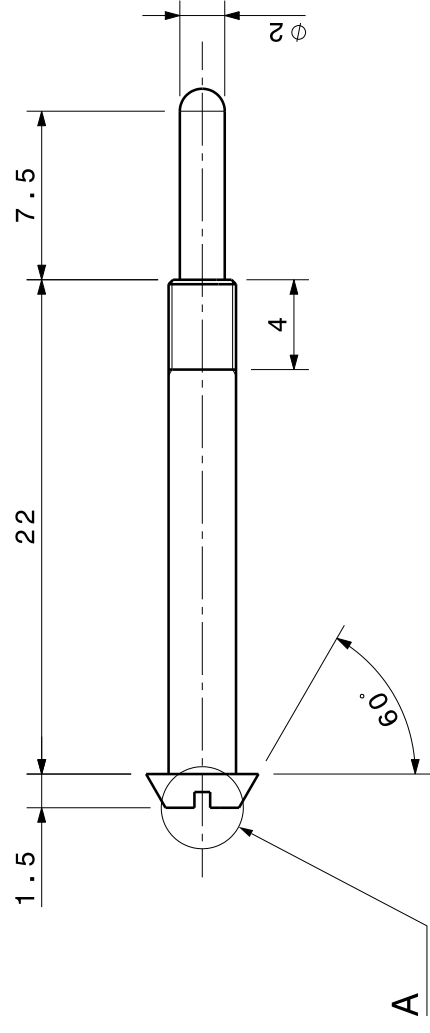
□

4

3


2

1



TOLERANCIAS GENERALES

Angulos	≤30°	30° a 120°	<120°
	±30°	±20°	±10°
Diámetro y Largo	0-6	6-30	30-120
	±0.1	±0.15	±0.2
		120-315	315-1000
		±0.2	±0.2
			±0.2


 Centro de Investigaciones Aplicadas

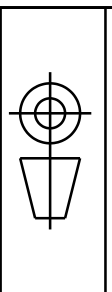

DIRECCIÓN GEN. DE INVEST. Y DESARROLLO
FUERZA AÉREA ARGENTINA

DIBUJÓ:
 Carlos A. Vitulich
FECHA:
 11/03/2016

ANODO BUJÍA

REVISÓ:
 Ing. H. H. Brito
FECHA:

A4
NÚMERO DE PARTE
 ZGSATX-640000A01B

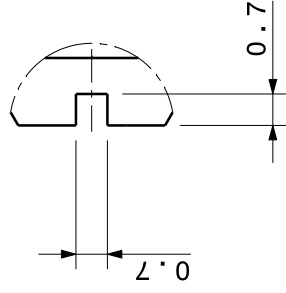


APROBÓ:
 Ing. H. H. Brito
FECHA:

ESCALA 3:1
CANTIDAD 1

MATERIAL: Inox. 304

Detalle A



□

A

4

3

2

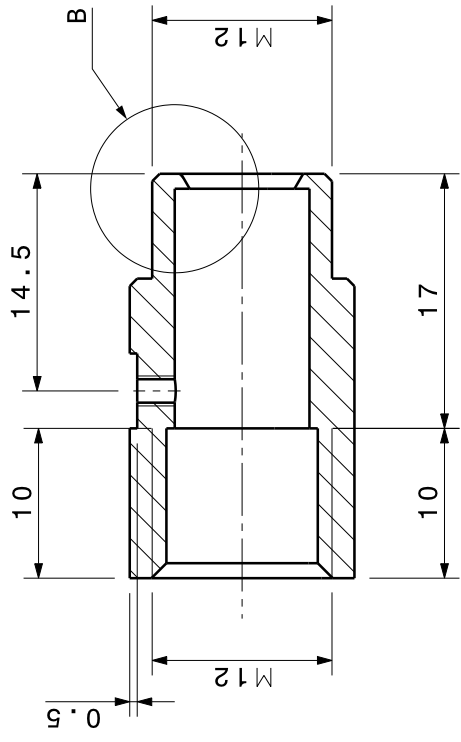
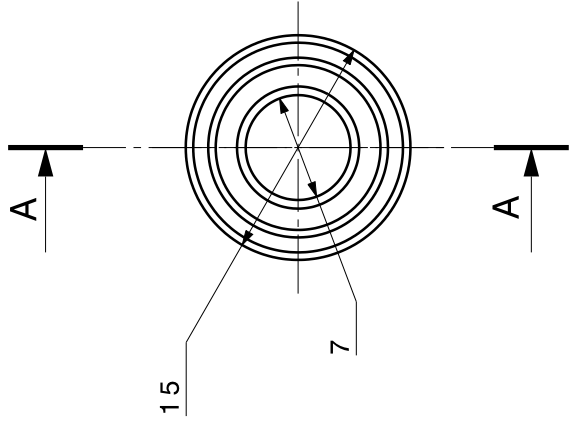
1

4

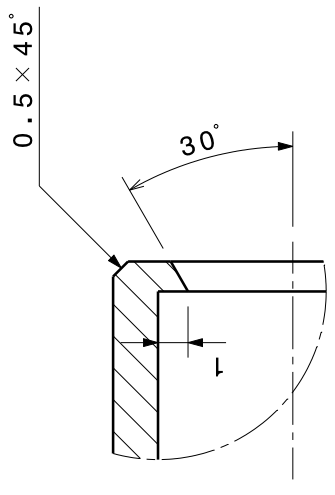
3

2

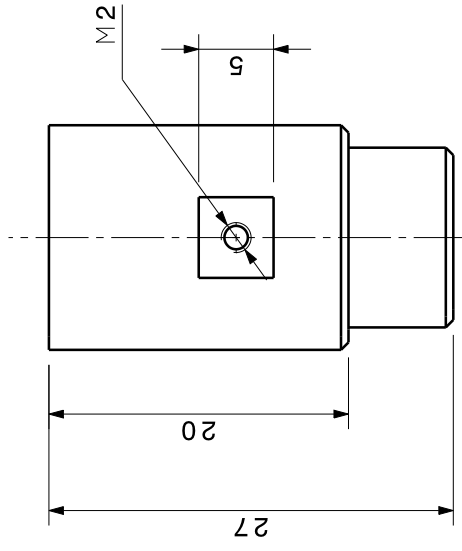
1



Sección A-A



Detalle B



TOLERANCIAS GENERALES

Angulos	≤30°	30° a 120°	<120°
	±30°	±20°	±10°
Diámetro y Largo	0-6	6-30	30-120
	±0.1	±0.15	±0.2
		120-315	315-1000
		±0.2	±0.2
			±0.2



Centro de Investigaciones Aplicadas



DIRECCIÓN GEN. DE INVEST. Y DESARROLLO
FUERZA AÉREA ARGENTINA

DIBUJÓ:
Carlos A. Vitulich

FECHA:
11/03/2016

REVISÓ:

FECHA:

APROBÓ:
Ing. H. H. Brito

FECHA:

CÁTODO BUJÍA

A4

NÚMERO DE PARTE
ZGSATX-640000A02B

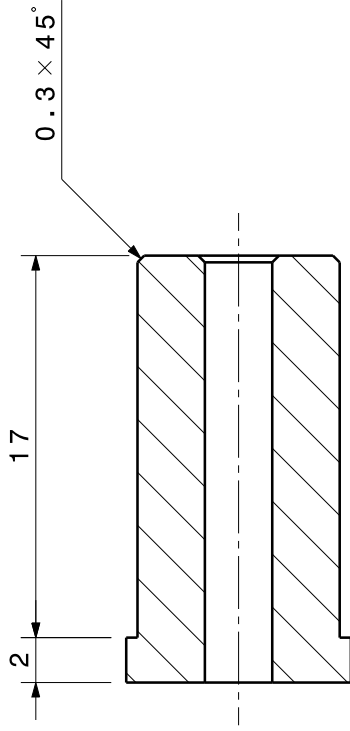
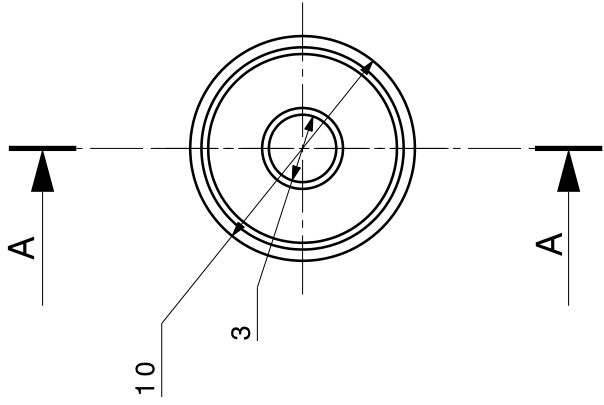
ESCALA 3:1

CANTIDAD 1

MATERIAL: Inox. 304


D

A



Sección A-A

TOLERANCIAS GENERALES			
Angulos	≤30°	30° a 120°	<120°
	±30°	±20°	±10°
Diámetro y Largo	0-6	30-120	120-315
	±0.1	±0.15	±0.2
		315-1000	>1000
		±0.2	±0.2


 Centro de Investigaciones Aplicadas

DIRECCIÓN GEN. DE INVEST. Y DESARROLLO
FUERZA AÉREA ARGENTINA

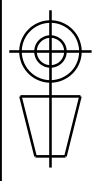


DIBUJÓ:
 Carlos A. Vitulich
FECHA:
 11/03/2016

BUJE DIELECTRICO

REVISÓ:
 Ing. H. H. Brito
FECHA:

A4 **NÚMERO DE PARTE**
ZGSATX-640000A03B



APROBÓ:
 Ing. H. H. Brito
FECHA:

ESCALA 3:1 **CANTIDAD 1** **MATERIAL: PTFE**

A

D

4

3

2

1

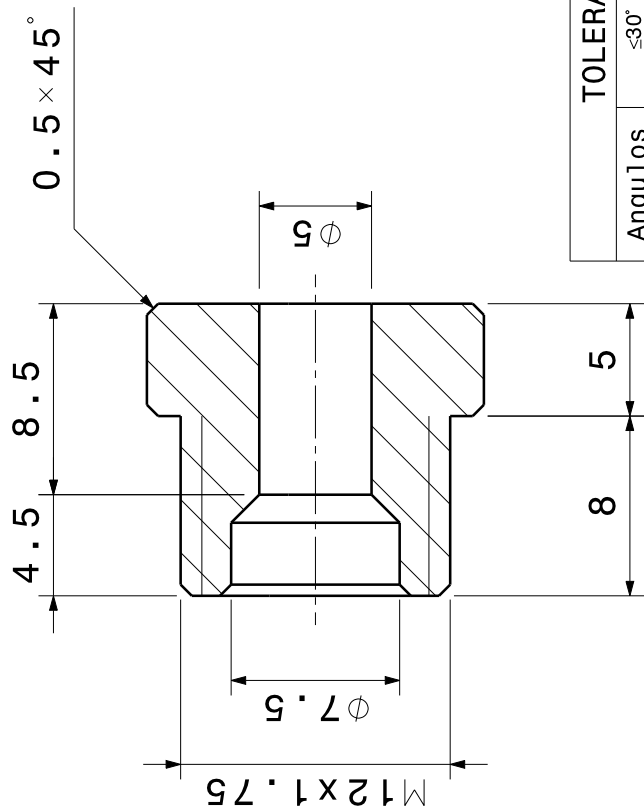
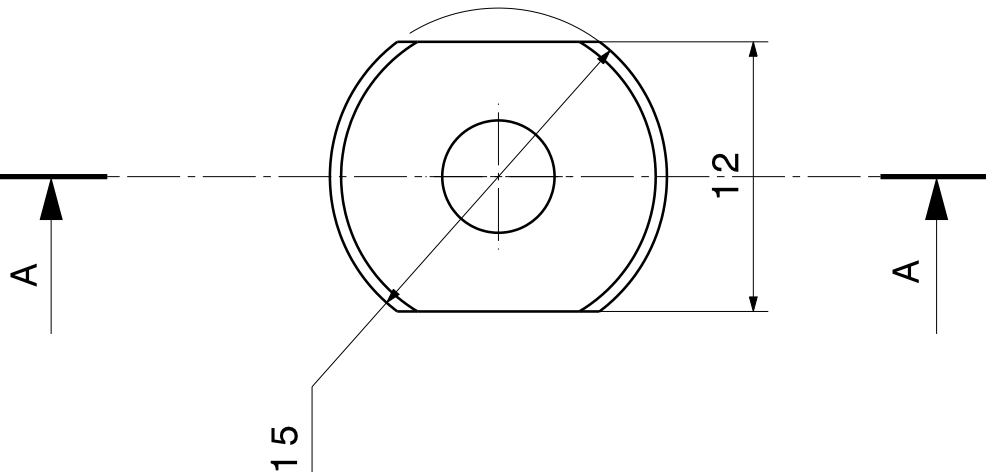
4

3

2

1

4 3 2 1



TOLERANCIAS GENERALES

Angulos	≤30°	30° a 120°	<120°
	±30°	±20°	±10°
Diámetro y Largo	0-6	30-120	120-315
	±0.1	±0.2	±0.2
		315-1000	>1000
		±0.2	±0.2

Sección A-A


 Centro de Investigaciones Aplicadas

DIRECCIÓN GEN. DE INVEST. Y DESARROLLO
 FUERZA AÉREA ARGENTINA

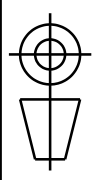


DIBUJÓ:
 Carlos A. Vitulich
FECHA:
 11/03/2016

TUERCA TOPE

REVISÓ:
FECHA:

A4
 NÚMERO DE PARTE
 ZGSATX-64000A04B



APROBÓ:
 Ing. H. H. Brito
FECHA:

ESCALA 3:1
 CANTIDAD 1
 MATERIAL: Acrílico

D A