

RESVELE 2.0-B: Robot Explorador Submarino de Vida Extraterrestre en la Luna Europa

RESVELE 2.0-B: Underwater Robot Explorer of Extraterrestrial Life in Europa Moon

Lisaida A. Martínez, Estudiante, Proyecto Educativo Vecindario Submarino
 Rogelio Morales, Coordinador General, Proyecto Educativo Vecindario Submarino

Resumen—La luna Europa, según los astrobiólogos, es uno de los principales lugares en el Sistema Solar con probabilidades de albergar vida, en un entorno similar al de las fuentes

hidrotermales de los océanos de La Tierra. Los indicios de agua líquida han motivado el interés científico para enviar un vehículo autónomo submarino (AUV) a la luna Joviana. El Robot Explorador Submarino de Vida Extraterrestre en la Luna Europa “RESVELE 2.0-B” es un prototipo diseñado, construido y operado por estudiantes de secundaria, para cumplir con las exigencias de una misión “hipotética” al satélite de Júpiter, con el objetivo de buscar biofirmas mediante estudios “in situ” para determinar si la vida está presente en el océano subsuperficial del satélite.

Palabras Claves—Astrobiología, Exploración Espacial, Luna Europa y ROV.

Abstract—Europa Moon, according to astrobiologists, is one of the main places in the Solar System that probably harbor life, in an environment similar to those of the hydrothermal vents of the Earth’s oceans. The evidence of liquid water has motivated the scientist interest to send an autonomous underwater vehicle (AUV) to the Jovian moon. The Underwater Robot Explorer of Extraterrestrial Life in Europa Moon “RESVELE 2.0-B” is a prototype designed, built and operated by high schoolers to fulfill the requirements of a “hypothetical” mission to the Jovian satellite, with the goal to search for biosignatures using “in situ” analysis to determine if life is present in the satellite subsurface ocean.

Index Terms—Astrobiology, Space Exploration, Europa Moon and ROV.

I. INTRODUCCIÓN

La posibilidad de encontrar vida en el universo y fuera del ámbito del planeta Tierra, ha sido el anhelo por siglos de la humanidad. Nuestra búsqueda siempre se basó en lugares o sistemas que replicarán fielmente las condiciones existentes en el planeta Tierra, específicamente, un planeta en órbita estable alrededor de una estrella y a la distancia “correcta” que permita la existencia de condiciones de habitabilidad que aprovechen la

energía lumínica suministrada por la estrella, es decir, la fotosíntesis. Todo eso cambió en 1977, cuando un equipo de investigadores del Instituto Oceanográfico Woods Hole hizo el descubrimiento de un ecosistema abundante en vida en el Océano Pacífico a 2,400 m de profundidad y que no dependía de la energía proveniente del Sol, por el contrario, dependía de procesos químicos que se desarrollan durante la quimiosíntesis para la generación de la energía que da sustento a cadenas tróficas [1][2]. Este descubrimiento estableció un antes y un después en la potencial variedad de formas de vida que pueden existir en el universo. La luna Joviana Europa plantea, en estos momentos, una posible respuesta a esa incógnita (Fig. 1).



Fig. 1. La luna Joviana Europa, fotografiada por la sonda espacial Galileo de la NASA a finales de los años 90. Se pueden observar planicies de hielo brillante, grietas que corren hacia el horizonte, y surcos marrones oscuros que probablemente contienen polvo producto de la actividad geológica.

A. Júpiter y sus Lunas

El gigante gaseoso Júpiter, es el mayor de los planetas del Sistema Solar (2.48 veces la masa de todos los demás planetas juntos) y quinto en orden desde el Sol. Es un cuerpo masivo gaseoso, formado principalmente por hidrógeno y helio, carente de una superficie interior definida.

Júpiter tiene una gravedad de 24.79 m/s^2 , el equivalente a $21/2$ veces la de La Tierra (9.78 m/s^2). También posee una magnetósfera extensa formada por un campo magnético de gran intensidad. Se cree que el origen de su impresionante

¹ Este trabajo es patrocinado por la Asociación Civil “La Nueva Vecindad”. El mismo fue enviado para su presentación en el II Congreso Venezolano de Tecnología Espacial en septiembre de 2017.

R. Morales es Coordinador del Proyecto Educativo Vecindario Submarino

de la A. C. “La Nueva Vecindad” (vecindariosubmarino@gmail.com).

L.A. Martínez es estudiante del Proyecto Educativo Vecindario Submarino de la A. C. “La Nueva Vecindad” (vecindariosubmarino@gmail.com)

magnetósfera es consecuencia del hidrógeno presente en el interior del planeta. El hidrógeno se comporta como un metal a causa de la altísima presión presente en el interior de Júpiter. El hidrógeno conduce los electrones y la rotación del planeta produce corrientes eléctricas, las cuales a su vez, producen un extenso e intenso campo magnético.

Las sondas Pioneer 10 y 11, en los años setentas, confirmaron la existencia del campo magnético Joviano y su intensidad 10 veces superior al terrestre y conteniendo más de 20,000 veces la energía asociada al campo terrestre. Las Pioneers descubrieron que las ondas de choque de la magnetósfera de Júpiter se extienden hasta 26,000,000 km del planeta [1][3].

El 07 de Enero de 1610, el astrónomo, matemático y físico Galileo Galilei (1564-1642) descubrió los principales satélites del planeta Júpiter: Ío, Europa, Ganímedes y Calisto (Fig. 2.) [1][2][3]. El descubrimiento de estos cuerpos celestes orbitando un planeta distinto a La Tierra refutaba el “Sistema Geocéntrico” propuesto por Aristóteles. Desde entonces se impuso el “Sistema Heliocéntrico” o “Copernicanismo”.

El número de satélites jovianos descubiertos hasta la fecha es de 67. Esto hace de Júpiter el planeta con el mayor grupo de lunas de todo el Sistema Solar, y de ellas, las cuatro mayores lunas (llamadas galileanas) sobrepasan los 3,100 km de diámetro.



Fig. 2. (Izquierda) Júpiter y sus lunas galileanas: Ío, Europa, Ganímedes y Calisto. Arriba (derecha), el telescopio construido por Galileo para observar el cielo nocturno con un poder de magnificación de 30x. Abajo (derecha) retrato de Galileo Galilei por el artista Ottavio Leoni (1623).

Ío, la galileana más próxima a Júpiter, presenta una actividad volcánica intensa como consecuencia del calentamiento por marea provocado, entre otras razones, por la atracción gravitatoria de Júpiter y Europa. Por lo tanto, Ío posee una superficie dinámica y en renovación permanente [1].

La actividad volcánica en Ío fue descubierta en 1979 por los científicos encargados de analizar las imágenes de la sonda Voyager 1. Observaciones posteriores de las misiones Galileo, Cassini y New Horizons, junto con los distintos observatorios astronómicos terrestres, revelaron más de 150 volcanes activos. La actividad volcánica de Ío hace de este satélite uno de los cuatro objetos celestes volcánicamente activos que se conocen en nuestro Sistema Solar, junto con La Tierra, Encélado (satélite de Saturno) y Tritón (satélite de Neptuno).

Europa, el siguiente satélite después de Ío, posee una superficie helada brillante bajo la cual se especula la presencia de agua líquida y de formas de vida. Presenta, en menor grado, los efectos del calentamiento por marea y en consecuencia indicios de actividad geológica en su interior. Está a unos 793,000,000 km de La Tierra [1][2][3][4].

Ganímedes, con un diámetro de 5,268 km, es el satélite más grande de todo el Sistema Solar (8% mayor que el planeta Mercurio). Está compuesto por un núcleo de hierro líquido, cubierto por un manto rocoso silíceo y una superficie de hielo en proporciones similares. Es la única luna conocida que posee un campo magnético propio. Estudios indican que pudiera contener en su interior agua en estado líquido en cantidades similares a la de La Tierra. [1]

Calisto, la galileana más distante de Júpiter, con un diámetro orbital de 1,883,000 km está compuesta aproximadamente de la misma cantidad de roca y de hielo. No presenta indicios de actividad geológica en su superficie. Posee la mayor cantidad de cráteres de impacto de todo el Sistema Solar [1].

El interés de este trabajo estará centrado en el satélite Europa, por su potencialidad para albergar vida, y por la tanto, justificaría una futura misión robótica de exploración.

B. Órbita y Rotación de Europa

Europa orbita Júpiter aproximadamente en 85 horas (31/2 días terrestres), con un radio orbital de unos 671,100 km y a una velocidad de 13.740 km/s. En comparación, nuestra luna orbita La Tierra a 1.022 km/s con un radio orbital de 384,400 km. La inclinación orbital de Europa es de 0.469 grados [3].

Europa presenta un fenómeno orbital conocido como “Resonancia de Laplace”, en el que tres cuerpos orbitan un cuerpo principal y poseen una relación simple entre sus períodos igual a 1:2:4. Visto de otra manera, mientras el cuerpo que tiene una órbita más exterior (Ganímedes) completa una órbita, el siguiente en distancia (Europa) completa dos y el más interior (Ío) completa cuatro [1].

Ío y Ganímedes ejercen una atracción gravitacional sobre Europa que le impide desarrollar una órbita circular y en consecuencia su órbita se mantiene ligeramente excéntrica. La atracción gravitatoria a la que está sometida, por lo tanto, varía levemente entre el apoapsis y el periapsis de su órbita [1].

La ligera excentricidad de 0.0094 de la órbita de Europa, mantenida por las perturbaciones gravitacionales de los demás satélites, hace que Europa sufra contracciones y distensiones a lo largo de su órbita. Tal frecuencia de deformaciones genera fricción, y por lo tanto, disipa calor suficiente para fundir el manto y el núcleo interno de Europa. Este calor es liberado en forma de actividad volcánica. Al fenómeno de disipación de la energía orbital y la rotacional en forma de calor se le conoce como “calentamiento por marea” (Fig. 3.) [1][2][3][4].

Por otro lado, Europa presenta una rotación sincrónica, en astronomía, la rotación sincrónica o sincrónica ocurre cuando los períodos orbitales y de rotación de un cuerpo coinciden, es decir cuando la velocidad angular de rotación de un cuerpo es la misma que su velocidad angular de traslación orbital, en forma tal que siempre se mantiene el mismo hemisferio apuntando al cuerpo que orbita.

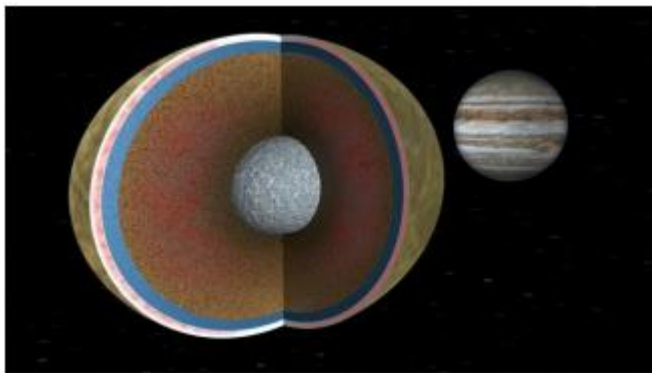


Fig. 3. La órbita de Europa alrededor de Júpiter es ligeramente excéntrica (0.0094), esto implica que la distancia al planeta varía, al igual que su atracción gravitatoria durante una órbita. Cuando Europa está cerca de Júpiter, la gravedad del planeta la alarga y cuando está más alejada de él, se relaja a una forma más esférica. El flexionamiento repetido del interior de la luna produce mucha fricción (calentamiento por marea) convirtiéndose en una fuente de calor que posibilita la existencia de un océano líquido y de procesos geológicos subsuperficiales.

C. Características Físicas de Europa

Europa está compuesta principalmente por rocas silíceas y una capa externa de agua que se estima posee unos 100 km de espesor (entre hielo y agua líquida). Posee una densidad de $3.014 \pm 0.005 \text{ g/cm}^3$, una masa de $(4.8017 \pm 0.000014) \times 10^{22} \text{ kg}$ y una velocidad de escape de 2.026 km/s. Los datos recolectados durante la misión de la sonda Galileo dan indicios de que Europa posee un campo magnético que es inducido por la interacción con Júpiter, lo que sugiere la presencia de una capa de fluido, probablemente un océano líquido de agua salada. Puede que también tenga un pequeño núcleo metálico de hierro-níquel. La temperatura de la superficie de Europa es de 110°K (-163°C) en el ecuador y de unos 50°K (-223°C) en los polos. Se estima que la corteza de hielo sólido tiene un espesor aproximado de entre 10 y 30 km, eso implicaría que el océano líquido estaría alrededor de entre 90 y 70 km de profundidad [1][2][3][4].

Europa presenta la superficie más lisa de cualquier objeto sólido conocido en el Sistema Solar. Las mayores grietas que se observan en la superficie de Europa tienen unos 20 km de extremo a extremo, con difusas orillas externas, estriaciones regulares, y una franja central de material más claro, probablemente originada por una serie de géiseres que al abrirse la corteza quedan expuestas a las capas más cálidas del interior [4].

Se cree que estas fracturas se han producido, en parte, por las fuerzas de marea ejercidas por Júpiter que desplazan la superficie de Europa hasta unos 30 metros entre la marea alta y baja. Puesto que Europa está anclada por la marea con Júpiter, las fuerzas deben seguir un patrón distintivo y predecible. Solo las fracturas más recientes de Europa parecen ajustarse a este patrón predecible; mientras que las fracturas más antiguas ocurren en direcciones cada vez más diferentes según sea su antigüedad. Esto podría explicarse si la superficie de Europa hubiese rotado ligeramente más rápido que su interior, un efecto que es posible, ya que el océano desacopla la superficie de la luna de su manto rocoso, permitiendo al efecto remolque de Júpiter desplazar la corteza exterior de la luna [1][2][3][4].

Europa contiene largas placas de hielo separadas por grietas, rellenas de material oscuro que pueden haberse formado por

agua líquida que ha escapado del interior cuando se fracturó la superficie helada. Estas placas al ser ensambladas como si fueran un rompecabezas, revelan la forma de una gran placa, esto indicaría una actividad geológica capaz de desplazar y modificar la superficie. Esta actividad también explicaría la carencia de cráteres de impacto en la superficie del satélite (Fig. 4.) [1][2][3][4].

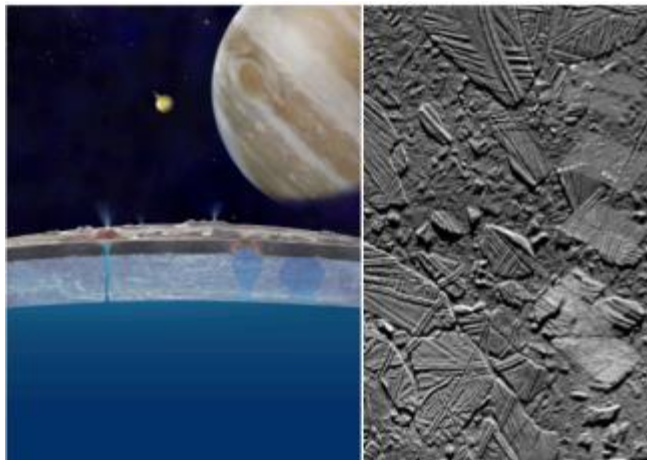


Fig. 4. (Derecha) El calor producido en el interior de Europa a causa del flexionamiento de la gravedad de Júpiter, produce suficiente calor en Europa como para derretir parcialmente el hielo en el interior, lo que pudo haber formado un océano subsuperficial. (Izquierda) Europa contiene largas placas de hielo separadas por grietas rellenas de material oscuro que pueden haberse formado por agua líquida que ha escapado del interior cuando se fracturó la superficie helada.

D. Habitabilidad Potencial

Actualmente, Europa se ha convertido en el principal candidato del Sistema Solar en términos de habitabilidad potencial. La vida extraterrestre podría existir bajo su superficie de hielo de un espesor relativamente delgado y geodinámicamente activa.

Europa es única entre los grandes satélites helados, porque se cree que un océano salado está en contacto directo con su manto rocoso, donde las condiciones podrían ser similares a las existentes en las fuentes hidrotermales de los fondos marinos de La Tierra, donde la vida es abundante, alimentada por energía y nutrientes que son resultado de reacciones entre el agua marina y el magma de la corteza [1][2][3].

La vida, como la conocemos, requiere de: 1) agua líquida; 2) compuestos orgánicos e inorgánicos complejos que contengan nitrógeno, fósforo, sulfuro, hierro y ciertos rastros de otros elementos; y 3) una fuente de energía lumínica o química. Europa parece cumplir con estos requisitos mínimos para la vida y se distingue entre los cuerpos del Sistema Solar por la presencia potencial de enormes cantidades de agua líquida (de 2 a 3 veces el volumen presente en La Tierra), con elevadas concentraciones de oxígeno y actividad geológica que propiciaría el intercambio de materiales entre la superficie del satélite y la subsuperficie [1][2][3].

E. Posibilidades de Vida

La presencia de fuentes hidrotermales en Europa plantea una posibilidad cierta, de ecosistemas químicamente enriquecidos que proporcionarían la base para la química prebiótica y el desarrollo de vida microbiana basada en la quimiosíntesis. Esto

se puede explicar por las condiciones particulares presentes en una fuente hidrotermal [1][2][3].

Una fuente hidrotermal, también conocidas como respiradero hidrotermal o fumarola hidrotermal, es una grieta en la superficie de un planeta o satélite del cual fluye agua geotermal. Las fuentes hidrotermales se encuentran comúnmente en lugares que son volcánicamente activos donde el magma está relativamente cerca de la superficie del planeta (Fig. 5.).



Fig. 5. Una fuente hidrotermal es una grieta en la superficie de un planeta del cual fluye agua geotermal. Se encuentran comúnmente en lugares que tiene actividad volcánica y el magma está relativamente cerca de la superficie del planeta. En la imagen se aprecia una fuente hidrotermal siendo estudiada por el brazo robótico de un ROV (Vehículo Submarino Operado a Distancia).

El agua al entrar en contacto con el manto se calienta geotermalmente, y como consecuencia, absorbe los minerales presentes allí. La alta temperatura también produce la disminución de la densidad del agua, haciendo que esta busque escapar nuevamente a través de fisuras en la corteza. El agua emerge de una fuente hidrotermal a temperaturas tan altas como los 400°C, comparado con los 2°C del agua oceánica circundante. La alta presión a estas profundidades eleva significativamente la temperatura de ebullición del agua y mantiene el agua en estado líquido a esas altas temperaturas.

Algunas fuentes hidrotermales forman chimeneas casi cilíndricas. Cuando el agua sobrecalentada entra en contacto con el agua de mar a temperaturas muy bajas (cercasas al punto de congelación), los minerales disueltos se precipitan formando los depósitos que van erigiendo las chimeneas. Algunas de estas chimeneas llegan a alcanzar los 60 metros de altura.

Las fumarolas negras emiten típicamente partículas con altos niveles de sulfuros metálicos y alcanzan altas temperaturas (entre 350 a 450°C). También se han descubierto fuentes que emiten minerales más ligeros, y éstas se conocen como "fumarolas blancas". Son típicamente más bajas en temperatura que las fumarolas negras, y al mismo tiempo son deficientes en sulfuro de hidrógeno, hierro (Fe) y cobre (Cu), mientras que son ricas en calcio (Ca), cinc (Zn), bario (Ba) y silicio (Si).

El agua que sale de las fuentes hidrotermales, rica en minerales disueltos, es compatible con una gran población de bacterias quimioautótrofas. Estas bacterias utilizan compuestos de azufre (en particular H₂S) altamente tóxicos para la mayoría de los organismos y producen materia orgánica y energía mediante el proceso de quimiosíntesis. A partir de estas bacterias pueden surgir pequeñas cadenas tróficas que no están

basadas en la fotosíntesis (Fig. 6.).



Fig. 6. En la imagen se muestra un ecosistema típico de una fumarola hidrotermal. Se pueden observar gusanos tubícolas (*Riftia pachyptila*), cangrejos de fuentes hidrotermales, peces thermarces (*Thermarces cerberus*).

F. Exploración

La exploración espacial de Europa comenzó con los sobrevuelos de las sondas espaciales Pioneer 10 y 11 en 1973 y 1974 respectivamente. Las fotografías tomadas por estas sondas eran de baja calidad comparadas con las de misiones posteriores. Las sondas Voyager 1 y 2 cruzaron el sistema de Júpiter en marzo y julio del año 1979 y proporcionaron imágenes más detalladas (2 km/píxel) de su superficie helada. Esas imágenes revelaron una superficie mucho más brillante que la luna terrestre, cruzada por numerosas bandas y surcos, así como la sorprendente falta de cráteres de impacto. Desde 1995 hasta 2003, la sonda Galileo orbitó Júpiter. Es hasta la fecha el más detallado reconocimiento de los satélites galileanos e incluyó la Galileo Europa Mission y la Galileo Millennium Mission, con numerosos sobrevuelos cercanos a Europa. En 2007 la New Horizons fotografió Europa mientras atravesaba el sistema Joviano de camino a Plutón [1][5].

Hasta ahora, no hay pruebas de que exista vida en Europa, pero las conjeturas de vida extraterrestre han dotado al satélite de un alto perfil y han conducido a presiones políticas constantes para programar nuevas misiones. Los objetivos de estas misiones van desde el examen de la composición química del satélite, hasta la búsqueda de vida extraterrestre en el hipotético océano interno (Fig. 7.). Las misiones robóticas tendrán que soportar la alta radiación que rodea a Europa y Júpiter, que en el caso de Europa ronda los 5.4 sieverts de radiación al día.



Fig. 7. En la ilustración se muestra un robot diseñado para penetrar capas gruesas de hielo (cryobot). Este se abre camino fundiendo el hielo y hundiéndose por acción de la gravedad. El cryobot luego despliega un robot autónomo submarino o AUV para explorar el océano subsuperficial de Europa.

II. MISIÓN ROBÓTICA

La Agencia Espacial Federal Rusa (Roscosmos) en el año 2009 realizó el Taller Internacional “Módulo de aterrizaje para Europa: objetivos científicos y experimentos” con la intención de desarrollar una propuesta de misión robótica al satélite Joviano [5][6][7][8].

Entre los principales objetivos científicos de esa misión a Europa, estarían la búsqueda de biofirmas para determinar la presencia de vida extraterrestre en la estructura interna de Europa, la superficie y el medio ambiente, mediante estudios “in situ” [5].

De esta propuesta de Roscosmos surge la idea, por parte del Proyecto Educativo Vecindario Submarino, de llevar adelante el desarrollo de un robot que se ajuste a los objetivos científicos de una misión a Europa.

El Robot Explorador Submarino de Vida Extraterrestre en la Luna Europa “RESVELE 2.0-B”, viene a ser la segunda generación de desarrollos robóticos por parte del Vecindario Submarino (siendo la primera RESVELE 1.0), que van dirigidos a proponer diseños de plataformas robóticas para misiones de exploración a Europa por estudiantes de educación secundaria.

La propuesta final, es resultado de un estudio exhaustivo de los requerimientos y restricciones de una misión Joviana y plantea un diseño que cumpla con esas especificaciones y con las expectativas en el campo de la astrobiología.

A. Objetivos Científicos

Buscar firmas de posible presencia de vida extraterrestre en la luna Joviana Europa, mediante estudios “in situ” del océano subsuperficial del satélite (Fig. 8.).

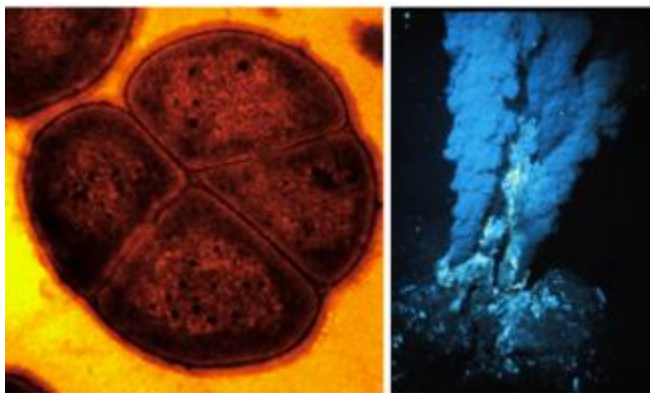


Fig. 8. (Izquierda) El *Deinococcus radiodurans* es una bacteria extremófila, y el segundo organismo conocido más resistente a la radiación. Puede sobrevivir en condiciones de calor, frío, deshidratación, vacío y ácido. Se ha sugerido que estas bacterias podrían ser capaces de sobrevivir en el satélite Europa. (Derecha) El agua que sale de los respiraderos hidrotermales es rica en minerales disueltos, y es compatible con una gran población de bacterias quimioautótrofas. Estas bacterias utilizan compuestos de azufre, altamente tóxicos, para producir materia orgánica mediante el proceso de quimiosíntesis

B. Objetivo Robótico

Diseñar, construir y operar un robot submarino controlado a distancia (ROV), que se adapte a los requerimientos de diseño de una misión hipotética al satélite Joviano Europa, para determinar “in situ” la existencia de vida en el océano subsuperficial del satélite.

La razón de construir un vehículo remoto radica en que, los estudiantes no han alcanzado aún el nivel de madurez para

desarrollar una plataforma robótica autónoma o AUV.

Sin embargo, la plataforma remota permite igualmente desarrollar un concepto funcional, operativo, que solo requeriría incluir el control autónomo cuando el estudiante posea las competencias necesarias.

C. Justificación de Diseño

RESVELE 2.0-B es resultado de un estudio exhaustivo de las características de una misión robótica a la luna Joviana Europa. Se tomaron en cuenta para su diseño las restricciones a nivel de espacio y peso del vehículo para su colocación en una sonda espacial, la robustez estructural, el consumo energético de todos los equipos y sistemas de abordaje (carga hotel), así como la instrumentación científica para los estudios “in situ”. Todo dentro de un diseño compacto y modular.

A nivel estructural, los requerimientos de diseño plantearon la selección de materiales resistentes a condiciones ambientales de alta radiación, vacío, salinidad y temperaturas bajo cero. Igualmente, el diseño debía garantizar la resistencia y rigidez de la estructura ante los esfuerzos presentes en algunas de las etapas de la misión. Estas consideraciones estructurales también incluyeron a los equipos de abordaje y la carga útil. Para soportar las posibles corrientes y maximizar el consumo energético en el desplazamiento, es necesario que su forma sea altamente hidrodinámica.

Todos los componentes del ROV (motores, tarjeta de control, cámaras, contenedores, etc.) deben resistir la presión hidrostática a 5 metros de profundidad (máxima presión disponible para esta etapa de desarrollo). Debe ser fácil de transportar por una persona, es decir, pequeño y ligero. Además ser robusto para soportar el transporte, es decir, preservar su integridad.

Tanto la estructura como los componentes del robot y sus accesorios deben estar muy bien fijados al igual que unidos, para que pueda soportar las variaciones y aceleraciones del despegue y aterrizaje.

D. Descripción Técnica

1) Estructura

El bastidor está fabricado con perfiles de aluminio dorado de 90°, con un espesor de 3 milímetros y unidos entre sí por remaches. La disposición de los perfiles de aluminio en el diseño de la estructura es triangular, para incrementar la resistencia y la rigidez estructural e incidir poco en el peso.

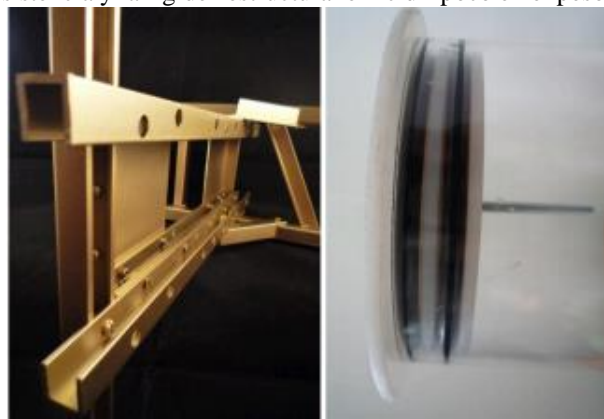


Fig. 9. (Izquierda) Chasis en aluminio recubierto con pintura dorada, se puede observar los remaches y estructuras en arreglo triangular. (Derecha) Contenedor hermético en acrílico con sello por O-ring de silicón doble.

El Contenedor hermético principal está fabricado en polimetilmetacrilato (PMMA), conocido comúnmente como acrílico, con un diámetro de 4 pulgadas y con un espesor de 3 milímetros. La función del contenedor es mantener protegidos del medio acuático los componentes electrónicos como las cámaras, los diodos láser, la tarjeta PWM, las controladoras de los motores Cytron 13A, la tarjeta de relés SPDT y la tarjeta Arduino Mega 2560 R3 (Fig. 9.).

E. Propulsión y Dirección

Parte importante del diseño del robot RESVELE 2.0-B consistía en hacer uso de la menor cantidad de motores para su desplazamiento, sin afectar su capacidad de movilidad. Se plantearon mecanismos para poder garantizar la movilidad del vehículo en el caso de fallo de algún elemento de propulsión (redundancia), entendiéndose que es un elemento de diseño necesario para garantizar la operatividad y por ende la continuidad de la misión a pesar de fallos en algún sistema.

Los motores horizontales se implementaron con el uso de dos bombas de achique Bilge Pump de 1100 GPH, de 12V, con propelas de 3 palas en fibra de carbono 5x4.

El motor vertical consiste de una bomba de achique Bilge Pump de 1100 GPH, de 12V, con una propela plástica de dos palas para el desplazamiento vertical. Este motor se ubica dentro de un ducto fabricado en PVC para direccionar el flujo de agua proveniente del motor hacia dos salidas de 45°, ubicadas en la parte inferior del vehículo. La intención de la bifurcación es, por un lado, generar un flujo de agua con poca afectación del fondo marino, y por el otro lado, permite dejar el espacio necesario para el desplazamiento del contrapeso (Fig. 10.).

Los motores laterales están basados en dos bombas de agua



Fig. 10. (Izquierda) Se observan la configuración de los sistemas de propulsión del ROV, dos motores horizontales con abrazaderas para la fijación y la estructura del motor vertical con los desvíos inferiores de 45°. Arriba (derecha), vista de uno de los motores laterales. Abajo (derecha), vista superior del motor vertical ubicado en la tubería de PVC.

para los limpiaparabrisas de automóviles. Dichas bombas consumen menos energía que las bombas de achique (las anteriormente mencionadas). Se utilizan para el desplazamiento lateral del ROV.

El sistema de flotación dinámico se encarga de variar la flotabilidad del ROV. La flotabilidad depende de la densidad que el vehículo tiene respecto al fluido donde se encuentre inmerso. Esta modificación de la densidad del vehículo se logra

extrayendo fluidos del interior del contenedor del sistema de flotabilidad dinámico, para expandir un vejiga ubicado en la parte externa y producir una disminución en la densidad relativa del robot, lo contrario ocurre cuando retornamos el fluido a la parte interna del contenedor.

Este dispositivo otorga una ventaja importante a la hora de ajustar la flotabilidad del vehículo, tomando en cuenta que se desconoce el nivel exacto de salinidad del océano subsuperficial en Europa. El sistema consta de una bomba peristáltica Zjchao, 12V DC, junto a 2 bolsas de solución fisiológica, una interna y otra externa (Fig. 11.).

El contrapeso es un carro (dispositivo que recorre la parte inferior del ROV) que permite desplazar, en el eje longitudinal, el centro de gravedad del vehículo para producir el movimiento de cabeceo. Este tipo de movimiento hace menor uso de recursos energéticos, escasos en una misión de estas características, también permite el desplazamiento del robot si llegara a fallar uno de los motores horizontales (Fig. 11.).

Los servo motores se implementaron en varios sistemas: apertura y cierre del brazo robótico, rotación y extensión de brazo robótico, así como para el desplazamiento del contrapeso. El voltaje de cada uno de los servo motores es de 7.4V.



Fig. 11. (Izquierda) Sistema dinámico de flotación. (Derecha) Sistema de contrapeso longitudinal.

F. Electrónica y Control

Se usaron dos microcontroladores Arduino Mega 2560 R3, una maestro (caja de control) y otra esclava (en el vehículo) para el control y monitoreo de todos los sistemas del robot. La caja de conexiones, está fabricada con dos jaboneras de policarbonato (PC). Protege las conexiones eléctricas de los daños accidentales y del medio acuático, garantizando la hermeticidad y las conexiones entre los sistemas del robot y la tarjeta de control.

El sistema de iluminación posee 4 bombillos LED blancos de 10W, acoplados a disipadores de calor en aluminio. Dos en la parte superior y dos en la parte inferior. Esta configuración disminuye la formación de sombras en la imagen. Igualmente, el sistema de luces cuenta con un modulador de ancho de pulso (PWM) de 12V-40V DC y 10A para la incrementar o disminuir la intensidad de las luces LEDs de 10W. La luces son de vital importancia en una misión al satélite Europa, debido a que el océano subsuperficial se encuentra debajo de una capa de hielo de gran espesor (10-30 km) que bloquea la poca luz que llega del Sol.

De igual manera, se posicionaron cuatro diodos láser de 5mW para el dimensionamiento de muestras o especímenes.



Fig. 12. Microcontrolador Arduino Mega 2560 R3 colocado en el rack del contenedor principal (base de fijación para los componentes electrónicos).

La caja de control cuenta con dos monitores de video LCD a color de 4.3 pulgadas (para cada cámara de abordaje), un joystick RumbelPad2 para controlar el desplazamiento del vehículo, un interruptor para las luces de navegación, una pantalla LCD de 16x2 para desplegar información de los sensores. La finalidad de la caja de control es permitir la operación de RESVELE 2.0-B de manera remota y presentar en el monitor las imágenes que envía el ROV.

En el rack del contenedor hermético se ubicó un PCB con cuatro relés STDT, dos relés para el movimiento lateral (izquierda/derecha) y dos relés para la bomba peristáltica (una para cada sentido).

También se ubican en el rack tres controladores de motores marca Cytron de 13A, y rango de 5-25V. Se utilizan para el control del propulsor vertical, el propulsor derecho y el propulsor izquierdo.

G. Instrumentación científica.

Una cámara CCTV CMOS de 420 TVL, marca TTM Limited para visualizar y controlar la operación del brazo robótico y otra cámara de CCTV CMOS, marca Smart Omni y 170° usada como cámara de navegación.

Un sensor de temperatura digital DS18B20 con un rango de medición de -55°C a $+125^{\circ}\text{C}$ y una precisión de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$, para determinar la temperatura del medio acuático subsuperficial del satélite. El sensor se encuentra adaptado al brazo robótico del vehículo.



Fig. 13. Izquierda, pinza robótica adaptada como brazo de manipulación del vehículo. Derecha, sensor de temperatura digital DS18B20.

El brazo está construido con una pinza robótica acoplada a

una estructura de perfiles de aluminio y conectados a los servo motores para su movimiento. Este brazo permite manipular muestras y posibles especímenes que se puedan encontrar en la luna Europa.

III. CONCLUSIÓN

RESVELE es un prototipo de robot explorador para una misión “conceptual” a uno de los principales satélites del planeta Júpiter, específicamente, Europa. En tal sentido, es un producto único que pretende formar a los estudiantes del Proyecto Educativo “Vecindario Submarino” en el diseño, construcción y operación de dispositivos remotos robóticos que tengan propósitos ambiciosos, con restricciones de diseño bien definidas y que deban ser efectivas y confiables. Es decir, el estudio de la presencia de la vida fuera del planeta Tierra.

Con “RESVELE 2.0-B”, se logró obtener una plataforma operativa y robusta, que cumple a nivel básico con los requerimientos de diseño. Además, incorpora todos los elementos necesarios para llevar adelante una misión remota a Europa. Por otro lado, la integración exitosa de los diferentes sistemas del robot (estructura, control y navegación, instrumentos, propulsión, etc.), abre la posibilidad a mejoras en cada uno de los sistemas y la incorporación de nuevos elementos. Se obtuvo una plataforma robótica remota submarina, operativa y con capacidades científicas bien definidas.

La implementación de la metodología del diseño ingenieril, resultó efectiva para cumplir con los requerimientos de diseño exigidos por la misión.

REFERENCIAS

- [1] Europa Jupiter System Mission (EJSM), Mission Concept Study, Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, under a contract with the National Aeronautics and Space Administration. March 2010.
- [2] Europa Study 2012 Report, Executive Summary, National Aeronautics and Space Administration, Europa Study Team, 1 May 2012, JPL D-71990.
- [3] Europa Study 2012 Report A, Introduction, National Aeronautics and Space Administration, Europa Study Team, 1 May 2012, JPL D-71990.
- [4] R. W. Carlson, W. M. Calvin, J. B. Dalton. Europa's Surface Composition. [5] I. Digel, B. Dachwald, G.M. Artmann, P. Linder, O. Funke. Europa Lander workshop: Science goals and experiments. A concept of a probe for particle analysis and life detection in icy environments. Moscow 2009.
- [5] Europa Study 2012 Report B, Europa Orbiter Mission, National Aeronautics and Space Administration, Europa Study Team, 1 May 2012, JPL D-71990.
- [6] Europa Study 2012 Report C, Europa Multiple Flyby Mission, National Aeronautics and Space Administration, Europa Study Team, 1 May 2012, JPL D-71990.
- [7] Europa Study 2012 Report D, Europa Lander Mission, National Aeronautics and Space Administration, Europa Study Team, 1 May 2012, JPL D-71990.



L. Martínez (Vecindario Submarino 2012) Nació en Petare, Caracas el 07 de Noviembre de 1999. Es estudiante del 5to año de bachillerato, en la especialidad electrónica, en la Escuela Técnica Industrial (ETI) “Leonardo Infante”.

Ella es estudiante de la Fase II Etapa 3 del Proyecto Educativo Experimental "Vecindario Submarino". Ha trabajado en el desarrollo de plataformas Robóticas Submarinos Operadas a Distancia tales como Caribe 2.0, RESVELE 1.0 y RESVELE 2.0-B. Le interesa la investigación de los espacios acuáticos submarinos y la exploración espacial.



R. Morales (Vecindario Submarino 2010)
Nació en El Paraíso, Caracas el 06 de Septiembre de 1973. Ingeniero Metalúrgico (2001) y MSc. en Ensayos No Destructivos (2008) de la Universidad Central en Caracas, Distrito Capital, Venezuela. Es fundador y Coordinador General de Proyecto Educativo

Vecindario Submarino.

En el 2008 fue estudiante invitado en el Laboratorio de Inmersión Profunda (Deep Submerged Laboratory) del Instituto Oceanográfico Woods Hole, Massachusetts, EE.UU., donde trabajó con los vehículos autónomos submarinos (AUV) SeaBED, Jaguar, Puma y Sentry, supervisado por el Prof. Hanumant Singh. En el 2009 fue investigador invitado en la Facultad de Informática de la Universidad Tecnológica de Múnich, trabajando en "Un Sistema de Realidad Aumentada Submarina para Operaciones de Buceo Industrial" supervisado por la Prof. Gudrun Klinker. Sus intereses incluyen las plataformas robóticas submarinas remotas y autónomas para fines científicos, el procesamiento digital de imágenes submarinas y la realidad aumentada submarina.