



LA FORMACIÓN DE INGENIEROS:
UN COMPROMISO PARA EL
DESARROLLO Y LA SOSTENIBILIDAD

www.acofi.edu.co/eiei2020

15 al 18
DE SEPTIEMBRE

20
20

UN ROBOT MARCIANO PARA LA EXPLORACIÓN Y LA EDUCACIÓN

Carlos A. Oliveros Forero, Martin Peláez Londoño, Eloy Briceño Moreno, Franz Luepke Prieto

**Universidad de los Andes
Bogotá, Colombia**

Resumen

A lo largo del 2019 se llevó a cabo el proyecto REM-U por la iniciativa estudiantil Robocol de la Universidad de los Andes. Esta iniciativa está conformada y liderada por estudiantes de diversas disciplinas como ingeniería mecánica, electrónica, sistemas, industrial, administración y diseño. El proyecto REM-U consiste en un rover de exploración marciana que fue diseñado y manufacturado por los estudiantes para participar en la competencia European Rover Challenge 2019. Esta consiste en interpretar e implementar todos los requerimientos de un rover de exploración, los cuales son obtenidos directamente de documentos utilizados en la planificación de misiones estratégicas de la NASA y la ESA. La competencia se compuso en varias etapas de clasificación finalizando con una competencia práctica llevada a cabo en el mes de septiembre en Polonia, en la cual Robocol participó. Este proyecto les permitió a los estudiantes poner en práctica todo el conocimiento y habilidades que se adquieren en los cursos vistos en la universidad y trabajar con estudiantes de otras carreras en un proyecto de ingeniería complejo e interdisciplinario. Dado que el proyecto es liderado por los mismos estudiantes, es necesario desarrollar habilidades blandas para gestionar, comunicar y conseguir patrocinadores y recursos indispensables. Este ejercicio académico es fundamental para el desarrollo de ingenieros críticos y hábiles, que al graduarse puedan afrontar cualquier problema actual con experiencia que brinda participar en proyectos similares a este en esta etapa académica.

Palabras clave: robótica; interdisciplinario; experiencia

Abstract

Throughout 2019 the REM-U project was carried out by the Robocol student initiative of the Universidad de los Andes. This initiative is formed and led by students from various disciplines such as mechanical, electronic, systems and industrial engineering, administration, and design. The REM-U project consists of an exploration rover that was designed and manufactured by students to participate in the European Rover Challenge 2019 competition. This consists of interpreting and implementing all the requirements of an exploration rover, which are obtained directly from documents used in planning strategic missions for NASA and ESA. The competition was made up of several stages of classification ending with a practical competition carried out in September in Poland, in which Robocol participated. This project allowed the students to put into practice all the knowledge and skills that are acquired in the courses seen in the university and to work with students of other careers in a complex and interdisciplinary engineering project. Since the project is led by the students themselves, it is necessary to develop soft skills to manage, communicate, and obtain essential sponsors and resources. This academic exercise is essential for the development of critical and skillful engineers, who upon graduation can face any current problem with the experience that participating in projects like this in this undergraduate academic stage offers.

Keywords: *robotics; interdisciplinary; experience*

1. Introducción

Robocol es una iniciativa estudiantil de la Universidad de los Andes. Esta fue fundada en el 2010 por un grupo de 5 estudiantes con la intención de participar en la competencia Lunabotics Mining Competition de la NASA. Desde entonces se dedica a incentivar el interés y la participación en torno al tema de robótica. Estudiantes de distintas disciplinas han trabajado de forma cooperativa y extracurricular para investigar, diseñar y llevar a cabo proyectos cuya complejidad excede el alcance de los cursos y a la vez que fomenta el desarrollo de habilidades blandas como la organización de grupos diversos, liderazgo y trabajo autónomo.

Después de esta primera instancia la iniciativa no solo creció en tamaño, creció con la misión de formar a sus integrantes en el área de tecnología aplicada a la robótica; con la finalidad de ofrecer experiencias de desarrollo a los futuros profesionales. Con la visión de ser un referente latinoamericano en el área de robótica mediante la investigación, innovación y desarrollo de proyectos, estando a la vanguardia en cambios tecnológicos.

Generalmente, las tareas desempeñadas culminan en la creación de un prototipo de un vehículo para exploración remota (Rover) capaz de competir en convocatorias de nivel internacional. En el año 2019 se llevó a cabo la competencia European Rover Challenge o más conocida como ERC. Aunque las labores desempeñadas no pretenden limitarse a esta convocatoria. La intención es tener al menos un prototipo completamente funcional para labores de divulgación de la universidad y de los patrocinadores y, a mediano y largo plazo, poder ofrecer prototipos de robótica cuyo funcionamiento y documentación apoye la labor desarrollo nacional de robótica.

La Fundación Espacial Europea en su apoyo en el desarrollo tecnológico en el área de exploración y utilización del espacio propone la competencia a nivel internacional ERC. La competencia presenta un gran reto tecnológico en áreas de ingeniería, ciencias y administración. Presenta la oportunidad a grupos universitarios de utilizar sus habilidades y conocimientos obtenidos en el entorno educativo, así como promover la profundización en temas como la dinámica y control para tareas complejas, la operación de un brazo robótico con 6 grados de libertad, análisis de elementos finitos para la elaboración de un chasis de bajo peso y alta integridad estructural, y elaboración de algoritmos de reconocimiento visual para la planeación de trayectorias ejecutadas de forma autónoma, entre otras. En este documento se expone la experiencia de Robocol así como el proceso de desarrollo del proyecto junto con los resultados obtenidos.

El objetivo principal de la organización es dar la oportunidad a los estudiantes de vivir la experiencia de trabajar en proyectos complejos de forma interdisciplinaria durante sus años de formación en la universidad que permitan reforzar de manera práctica los temas vistos en sus clases.

2. La competencia

El ERC es una competencia y evento de ingeniería internacional donde los equipos universitarios construyen robots para competir en pruebas de campo basadas en las pautas para futuras exploraciones espaciales creadas por la NASA y la ESA. ERC es un esfuerzo continuo para educar a la próxima generación de ingenieros multidisciplinarios e impulsar la innovación en investigación, negocios y popularizar avances de STEM (ERC, 2019a).

La primera fase consiste en una propuesta y un reporte preliminar. La segunda fase en un reporte final y un video de comprobación de funcionamiento. Esta documentación tiene como objetivo que los equipos formalicen su proyecto y tengan una idea de cómo son los estándares de la industria aeroespacial. Los documentos reciben una calificación la cual se tiene en cuenta para la clasificación y la puntuación final. Finalmente, la fase de competencia, donde todos los equipos clasificados ponen a prueba el rendimiento de sus robots y sus habilidades orales. Esta se lleva a cabo en Polonia el campo de pruebas llamado Mars Yard, que con su forma, color y composición geológica que imita la superficie del planeta rojo. Se compone de 4 tareas y cada una presenta un conjunto independiente de problemas a resolver enfocados a tecnologías particulares requeridas por futuras misiones de robótica espacial.

El objetivo de la tarea de ciencias es obtener muestras de las capas superficiales y subsuperficiales del suelo, cada una tomada de diferentes lugares especificados por el juez. Las muestras deben almacenarse en caché en recipientes preparados. Además, se puntuarán las mediciones in situ y la documentación automática (fotográfica, geolocalización, etc.) del lugar de recolección y las muestras (ERC, 2019b).

La tarea de mantenimiento tiene como objetivo validar la capacidad y el rendimiento del robot para operar un panel eléctrico en el que se montan varios interruptores y otros componentes eléctricos. El equipo tiene que usar el dispositivo de manipulación del móvil para identificar y

configurar los interruptores en las posiciones correctas, medir los parámetros eléctricos, configurar otros controles del panel y observar los comentarios del dispositivo (ERC, 2019b).

La tarea de recolección está destinada a demostrar la capacidad de realizar escenarios de recuperación de caché. El equipo tiene que llegar a las ubicaciones marcadas en el mapa, buscar y recoger el caché y colocarlo en el contenedor a bordo en la orientación requerida, luego entregar el contenedor con cachés al destino final (ERC, 2019b).

La tarea de navegación está destinada a demostrar la capacidad del sistema de recorrer el campo de forma totalmente autónoma. El equipo debe desarrollar un proyecto que evolucione gradualmente hacia un sistema totalmente autónomo, atravesando y recopilando datos importantes en su camino. En la etapa inicial, el sistema se puede desacoplar con el operador en el bucle, pero todas las operaciones de planificación y estimación de parámetros deben ser realizadas por el propio sistema. Esto limita al operador a navegar por el robot a ciegas, es decir, sin acceso a información visual u otro alcance espacial. Sin embargo, cualquier tipo de datos puede procesarse a bordo, proporcionando a los operadores información de soporte sobre localización y operación. La estrategia de navegación inteligente, la integración de sensores y el procesamiento de datos de imágenes son esenciales en esta tarea. Más información sobre la competencia se puede encontrar la página oficial de la organización. (ERC, 2019b).

3. Tecnologías desarrolladas

Para cumplir todos los requerimientos de la competencia fue necesario desarrollar equipos los cuales formaron al Rover REM-U. Además de esto, también se debía tener en cuenta que el robot debería ser transportado desde Colombia a Polonia con las limitaciones espaciales del equipaje, por lo cual, tenía que ser fácil de desensamblar y ensamblar y que todas las piezas se ajustaran a las medidas de una maleta de viaje y a las regulaciones de los diferentes países. A continuación, se presentan las principales tecnologías que se implementaron en el Rover.

Rocker Bogie: Es un tipo suspensión desarrollada por la NASA que permite al vehículo trepar por obstáculos (piedras, escalones, etc.) que tengan hasta el doble del diámetro de las ruedas mientras mantiene las seis ruedas en el suelo y el chasis nivelado.

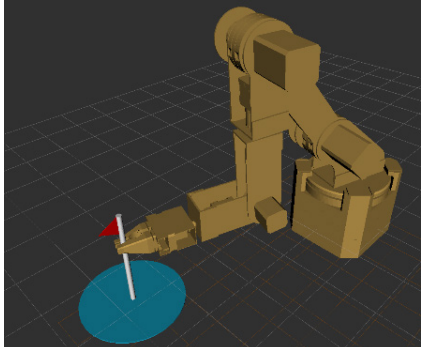
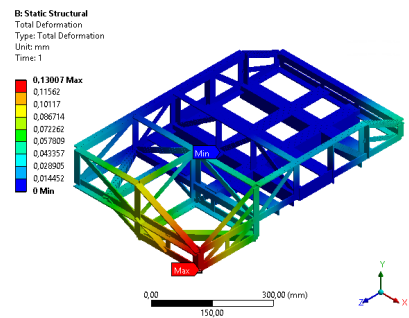
Chasis: Tiene una estructura tipo truss para proporcionar rigidez y al mismo tiempo que preserva una construcción liviana y el espacio para todos los componentes y la caja electrónica. El marco está compuesto de platinas y ángulos de aluminio los cuales se unen mediante uniones no permanentes.

Llantas: Con el objetivo de agregar amortiguación, tracción y reducción de peso se implementó la rueda Honeycomb. El material que se seleccionó fue poliuretano termoplástico (TPU) debido a la alta elasticidad y excelente resistencia al impacto. Después de varias simulaciones, análisis del terreno y prototipos, la versión definitiva se manufacturo en una impresora 3D. El tiempo de impresión de cada una fue de 90 horas.

Brazo robótico: Cuenta con 6 DoF y un alcance máximo de 80 cm. El diseño del brazo se centra en la destreza y utiliza motores paso a paso de alto par. Para una retroalimentación económica pero efectiva, la posición angular de cada junta se calcula utilizando potenciómetros lineales analógicos. La posición y la velocidad del efector final se calculan a partir de los movimientos del joystick a través de la cinemática inversa. El brazo se compone principalmente de geometrías de chapa plegada, paneles de fibra de carbono y plástico ABS impreso en 3D.

La arquitectura electrónica: El sistema se basa en 4 baterías que suministran voltaje a todos los sistemas. El cerebro principal de las operaciones está hecho por una colaboración de FPGA y Jetson TX2. Se utilizaron dos sistemas de comunicación, uno como respaldo del otro. Uno de ellos es por WiFi, para obtener más alcance, se está utilizando un punto de acceso con una antena omnidireccional y el otro es por RF con una tarjeta XBee. Para la visión y el análisis de imágenes se están utilizando cámaras IP y USB. Los sistemas de brazo y tracción cuentan con interruptor, batería y controladores individuales.

Automatización, ROS y Gazebo: Debido a las normas de la competencia no es posible ver el robot de manera directa en ninguna prueba sino siempre a través de cámaras o datos



enviados de manera inalámbrica, simulando que el robot está en otro planeta, por esto para tener un buen control y observar el brazo de manera virtual se trabajó con software especializado como lo es ROS y Gazebo que permiten modelar en vivo la posición tanto del brazo como de todo el robot en sí, este mismo permite el automatizar procesos como por ejemplo el poder llegar a un punto específico del chasis cuando es requerido .

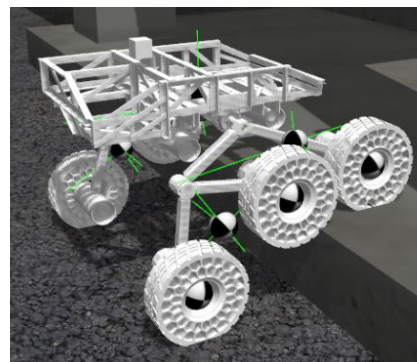


Ilustración 1. Imágenes de las características de REM-U

Almacenamiento de muestras: La caja de sellado automático tiene el objetivo de pesar, almacenar y sellar la muestra simultáneamente. La caja funcionará como un interruptor mecánico que se activará una vez que el peso interior alcance los 150 gramos. Una vez que se haya logrado esta condición, las palancas de la caja cerrarán una tapa que proporcionará un sello hermético. Esta caja presentará un mecanismo que puede modelarse como un sistema de amortiguación de resorte de masa. Como resultado inmediato, se filtrarán los estímulos no deseados y se minimizará la probabilidad de falsos positivos. Cabe señalar que todas las piezas de este mecanismo se pueden hacer mediante corte por láser, lo que reduce significativamente el precio de fabricación, permite la producción en masa y permite el uso de materiales ecológicos, como tableros de MDF.

4. Planeación y ejecución

El grupo de se organizó en 3 subsistemas, mecánica, electrónica y ciencias. Cada subsistema contaba con dos colíderes, que se encargaban de administrar las actividades y las tareas que se llevaron a cabo en cada subsistema, así como tener control de la divulgación y mantener a los otros subsistemas y colíderes informados de lo que se está realizando. Estas 6 personas componían la junta de Robocol y estaban encargadas de tomar las decisiones relevantes que le conciernen al equipo. Este se conformó por 23 estudiantes de pregrado y posgrado.

El proyecto consistió en 3 etapas principales: Diseño, manufactura, integración y competencia.

En la etapa de diseño se recolecta la información de sitios relevantes y bibliografía. Se investiga sobre proyectos desarrollados similares a nivel mundial, así como a nivel nacional. En esta etapa preliminar se busca el desarrollo de prototipos para los sistemas más cruciales. Por ejemplo, se realizó prototipos de madera para el brazo de 6 grados de libertad previo a su construcción final en fibra de carbono. Para los sistemas de electrónica se desarrolló un diseño digital de la conexión de los sistemas de comunicación, así como la simulación de las tareas de control y diseño de la interfaz. Para el desarrollo del chasis Rocker Bogie se modelaron varios prototipos CAD y se expusieron a simulaciones de elementos finitos para verificar que cumpliera con los requerimientos estipulados por la competencia. Por parte del equipo de ciencias se realizaron algoritmos modelos para el reconocimiento de muestras de tierras para determinar componentes relevantes en su composición y determinar la posibilidad de la existencia de vida en estas muestras de terreno. Esta etapa se inició en el mes de enero y duro hasta abril y tomo de más de 500 horas de trabajo.

Una vez finalizada la etapa de diseño, se procede a materializar y manufacturar los sistemas concebidos. En esta etapa se incluye el proceso de compras. Para el sistema del brazo se procede fabricar los elementos necesarios y ensamblar estas partes con los motores seleccionados, así como la tornillería y sensores adquiridos. Para el chasis Rocker Bogie se adquieren las piezas individuales de aluminio, se realiza el proceso de ensamble de cada unión con rodamientos y se instala el diferencial de movimiento. Para la manufactura de los componentes electrónicos, se implementa el diseño de las PCBs, conexiones y se prueba la conexión de los motores, así como el correcto funcionamiento de los controles en la interfaz. Toda la etapa de manufactura se desarrolló desde mayo hasta julio.

Una vez realizada la manufactura de todos los sistemas necesarios para la operación óptima del rover se procede a la fase de integración, esta es la fase más crítica de todo el proceso pues requiere un alto nivel de planeación y coordinación entre los capitanes de los subsistemas. Se deben unir todos los sistemas de forma operacional. Por ejemplo, para tener control sobre la coherencia de la velocidad angular de cada rueda en relación con la base lineal del robot entero, se implementa un control de velocidad independiente en cada rueda teniendo en cuenta que hay ruedas que pueden tender a deslizarse o atascarse. Esto requiere planeación entre el subsistema de mecánica y electrónica. Implementar los algoritmos de control junto con las conexiones adecuadas a los puentes de electrónica y adjuntar el brazo al chasis, es el último proceso previo a la competencia y se debe corroborar que todos los subsistemas funcionen de forma sincrónica y de forma adecuada. Esta etapa de ensamble va de julio hasta finales de agosto. Es necesario aclarar que todo este proceso es altamente iterativo. Al momento de ensamblar y probar fue necesario rediseñar y volver a manufacturar unos componentes de varios sistemas.

Además de los problemas de ingeniería también existe toda la parte de gestión del proyecto. Dado que el proyecto no tiene un presupuesto fijo por año, los capitanes deben conseguir financiamiento para todas las fases y además de esto gestionar toda logística de viaje. El proyecto se presenta de forma oficial a los departamentos de la universidad y patrocinadores externos. El equipo logro conseguir 8 patrocinadores para todo el proyecto. Estos patrocinadores son fundamentales para el desarrollo y el grupo siempre está en búsqueda de aliados estratégicos.

5. Resultados

Se identifican 2 resultados principales del proyecto. El prototipo del rover como tal y la experiencia obtenida para el equipo y los integrantes. Se logró construir un rover el cual cumplió con la mayoría de los requerimientos establecidos por la competencia y se logró participar en 3 de las 4 cuatro tareas, pero con gran dificultad debido a que en el viaje se dañó una de las tarjetas electrónicas principales, se tenían planes de contingencia para una gran cantidad de inconvenientes, pero prever todo el riesgo es prácticamente imposible. Fue necesario pedir ayuda a los demás equipos y tratar de arreglar con las pocas herramientas que se tenían. Los integrantes trabajaron sobre una presión extremadamente alta durante toda la semana para lograr llegar a distintas pruebas. Estar bajo esta presión exigió a los estudiantes a ser creativos y fue una experiencia que sin lugar a duda quedara en los recuerdos de todos. Esto fue posible al gran esfuerzo de cada uno de los

integrantes que fue capaz de administrar su tiempo entre la universidad y el proyecto durante todo el año.

Dentro de los objetivos específicos del proyecto se logró cumplir con un rover con tracción en las 6 llantas, un brazo funcional de 6 grados de libertad capaz de levantar hasta 3 kg, todo esto siendo controlado de una manera remota y por medio de las cámaras instaladas en el robot, con una autonomía de alrededor de 2 horas, la cual aumenta proporcional al tiempo en stand by. Esto ya que cuenta con alimentación independiente para los sistemas, permitiéndoles tener un consumo energético aislado. Como el brazo tiene un importante consumo debido al esfuerzo que tiene que realizar para cumplir las tareas. Así mismo, para las pruebas de recolección y de ciencias se contó con una pala integrada al brazo como un componente adicional la cual contaba con sensores de temperatura, humedad, metano e hidrógeno, permitiendo realizar un análisis científico del terreno. En la Ilustración 2 se muestra el prototipo final en el Mars Yard.



Ilustración 2. Prototipo final de rover de exploración marciana REM-U en el Mars Yard, Kielce, Polonia.

6. Lecciones aprendidas

La participación en la competencia ERC 2019 permitió a los integrantes obtener una nueva perspectiva de las dinámicas de equipo y, especialmente, replantear los objetivos y la organización de este. Fue evidente de que la forma en la que se estructuró el equipo no era la mejor, a pesar de ser un equipo interdisciplinario, no lo era en todas sus instancias. Adicionalmente, Robocol se

mostraba enfocado únicamente en la construcción del robot marciano y ese no era elemento diferenciador del equipo.

Observando la primera falla clave en el equipo, la forma en la que se organizaba, se replanteo y creo una nueva jerarquía. La organización anterior planteaba que todas las personas de un área de conocimiento trabajaran juntas y que la comunicación con otras áreas fuera mínima o mediante su líder, esto hacía que existiera “equipo de ingeniería mecánica”, “equipo de ingeniería electrónica”, entre otros. Esto tuvo que ser modificado, por lo que se planteó trabajar por áreas de tecnología y no por disciplinas. Lo cual permitió que existiese una mejor comunicación entre las distintas disciplinas y por ende se pudiera lograr un mejor diseño y resultados. Se pasó de tener “Equipo de ingeniería mecánica” a tener “Equipo de tracción”, “Equipo de brazo robótico”, entre otros. En cada nuevo equipo se determinaría que disciplinas serían necesarias y así se realizó una nueva asignación de roles de una forma más eficiente.

Por otro lado, la segunda falla clave fue la concepción de los objetivos. Inicialmente, Robocol se mostraba como un equipo que desarrollaba únicamente un robot de exploración marciana, sin embargo, Robocol va más allá de esto. Robocol es equipo que se encarga de desarrollar y aplicar tecnologías con el fin de mejorar y reforzar los distintos conocimientos aprendidos por los estudiantes; no se busca hacer un robot para ir a una competencia, se busca brindar experiencia de trabajo de interdisciplinario en proyectos complejos a sus integrantes y a la vez desarrollar tecnologías útiles o extrapolables a la industria las cuales se ponen a prueba en competencias de alto nivel para detectar las fallas y posibles mejoras en dichas tecnologías. El objetivo principal objetivo pasó de ser “Somos un equipo que construye un robot de exploración marciana” a “Somos un equipo donde los estudiantes exploran, desarrollan e implementan nuevas tecnologías que puedan ser utilizadas en el futuro en el área de la robótica.”

7. Referencias

- ERC. (2019a). ERC Space & Robotics Event. Consultado el 20 de junio de 2020 en <http://roverchallenge.eu/>
- ERC. (2019b). Register for Teams - ERC Space & Robotics Event. Consultado el 20 de junio de 2020 en <http://roverchallenge.eu/register-for-teams/>

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2020 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)