

Diseño y construcción de un robot multiterreno tipo hovercraft

Design and development of a hovercraft type multi-terrain robot

James Ferney Plaza Mera
e-mail: Jamesplaza@unicomfacauca.edu.co
Francia Inés Campo Pizarro
e-mail: Franciacampo@unicomfacauca.edu.co
Didier Ferney Vera
e-mail: dvera@unicomfacauca.edu.co

Resumen El artículo presenta el desarrollo de un robot multi terreno tipo Hovercraft, tanto en el diseño CAD como su construcción física, se ilustran los componentes generales y como se llevó a cabo el proceso de construcción, haciendo uso de diversos materiales y técnicas de prototipado. Se obtuvo un prototipo robusto que cumplió con los estándares del diseño mecatrónico.

Palabras Clave: Hovercraft, Suspensión, Propulsión, Robot, Diseño CAD, Actuador, Tx y Rx

Abstract: This article presents the development of a multi terrain type robot Hovercraft both the CAD design and physical construction, the general components as illustrated and carried out the construction process, using different materials and prototyping techniques. A robust prototype was obtained that met the mechatronic design standards.

Keywords: Hovercraft, Suspend, Sprint, Robot, CAD Design, Actuator, Tx and Rx

INTRODUCCIÓN

Un robot se puede describir como sistemas controlados manual u automáticamente, reprogramables, multipropósito y en función de los humanos, pueden tener diferentes tipos de configuraciones o formas y es por esto que se clasifican principalmente por su aplicación. La palabra *robot* viene del «checo» Robot y se refiere al trabajo realizado de manera forzada [1].

El presente artículo presenta una propuesta de diseño y fabricación de un robot móvil multi-terreno tipo *Hovercraft* para la extracción de material flotante sobre la superficie acuática de lagos y lagunas, su finalidad radica en que los ambientalistas dedicados a este tipo de actividades están expuestos a caídas, hundimientos sobre terrenos fangosos y mordeduras de animales peligrosos, esta justificación determina la creación de un prototipo que permita minimizar el riesgo presente para este tipo de actividades.

Para lograr obtener dicho material flotante se hace necesario la inclusión de un manipulador o efector que permita la recolección de las muestras, para el caso se hace uso de un brazo mecánico articulado de tres grados de libertad con manipulación de control manual y accionamiento remoto.

Las implicaciones que representa la fabricación de un prototipo de estas características conllevan a documentar información y presentar resultados extensos, por lo que el presente documento solo se limitara en el desarrollo general del CAD y la construcción física de todos los sistemas que integraran el Robot.

MATERIALES Y MÉTODOS

Como punto de partida para el diseño de un robot multi-terreno se deben comprender ciertos aspectos independientes que serán la unión de un único proyecto, por tanto, se debe desglosar a modo general que componentes se incluirán en el prototipo. Así como se ilustra en la Figura 1.

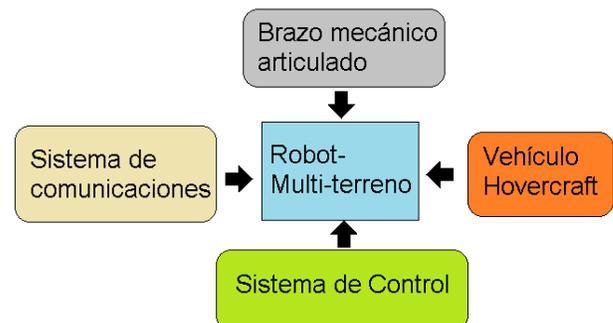


Figura 1. Componentes generales de un robot multi-terreno

Vehículo Hovercraft: un *Hovercraft* u *Aerodeslizador* es un tipo de vehículo anfibio multi terreno capaz de suspenderse gracias a su particular forma de trabajo, su principal cualidad radica en la capacidad de poder moverse sobre diversas superficies regulares mediante un colchón de aire presurizado, el cual se genera a través de un sistema de suspensión, una vez lograda la suspensión se hace necesario lograr un movimiento horizontal por lo que se hace uso de un sistema de propulsión [2].

Brazo Mecánico Articulado: La definición adoptada por el Instituto Norteamericano de Robótica aceptada internacionalmente para Robot es: "Manipulador multifuncional y reprogramable, diseñado para mover materiales, piezas, herramientas o dispositivos especiales, mediante movimientos programados y variables que permiten llevar a cabo diversas tareas" [3]. Para el caso en cuestión la única diferencia es que el control del brazo mecánico será de modo manual y no automático.

Sistema de control: Definido como el sistema encargado de controlar y llevar a cabo todos los movimientos e interacciones físicas de sus actuadores. Proveerá las señales necesarias para un correcto manejo del prototipo [4].

Sistema de comunicaciones: Modulo encargado de recibir las señales provenientes de un mando a distancia, se podría decir que es un bridge o puente entre las señales electromagnéticas provenientes del control remoto y el receptor o sistema de control [5].

Selección de componentes

Para lograr un óptimo desarrollo del proyecto es necesario conocer de modo general que componentes se incluyen en un vehículo tipo *Hovercraft* y brazo mecánico, para el caso del vehículo se toman como referencias las experiencias de constructores tanto especializados como aficionados, a continuación, se resumen las selecciones para el mismo [6].

- **Base:** configuración rectangular con puntas redondeadas.
- **Falda y recamara de suspensión:** recamara tipo plenum modificada y con alimentación de aire en paralelo en una falda tipo bolsa
- **Tipo de configuración por potencia:** Sistema de propulsión y suspensión con unidades de potencia independientes.

Las medidas aproximadas para el vehículo son:

- **Largo:** 72.4cm
- **Ancho:** 36.2cm
- **Alto:** Cabina;10cm, Falda; 10cm
- **Altura brecha de salida o claro de aire:** 5mm

Haciendo uso de las teorías de Bernoulli, pascal y Newton se encuentran los siguientes valores para la selección de componentes:

- **Caudal para la suspensión:** $0.50 \text{ m}^3/\text{s}$
- **Potencia para la suspensión:** 1.17hp recomendación por eficiencia 30% más en este valor.
- **Velocidad establecida:** 5m/s
- **Aceleración propuesta:** 1.25 m/s²
- **Fuerza de empuje para la propulsión:** 19.63N
- **Potencia de propulsión:** 196.33 watt
- **Motor de suspensión:** Debido a la dificultad de poder adquirir este tipo de componentes que sean diseñados para el presente fin o vehículo *Hovercraft* a baja escala, se opta por adquirir un motor de aerodelismo de combustión de 2.1 hp.
- **Motor de propulsión:** Como la potencia designada para el empuje no es tan crítica se opta por utilizar 2 motores eléctricos tipo Brushless sin escobillas de referencia NTM Prop Drive 28-36 2200kv / 696W

Para ambos casos se usan hélices recomendadas por los fabricantes. Lo ideal para el sistema de suspensión es utilizar un ventilador, pero como se mencionó anteriormente debido a la imposibilidad de encontrar este tipo de componentes para dicho fin se opta por usar lo mejor que se tenga disponible.

- **Material de construcción:** Existen algunas opciones apropiadas, como; madera contrachapada, compuestos, espuma, plástico.

En el caso del brazo mecánico existen diversas opciones de diseño y fabricación por lo cual a continuación se resumen los aspectos más importantes:

- **Tipo de estructura:** Articulado de 3 grados de libertad.
- **Selección del tipo de control:** Remoto con control Manual.
- **Selección de los actuadores:** Servomotores.
- **Selección del efector final:** Pinza de agarre y/o colador de plástico.
- **Material de construcción:** Tubos, codos y uniones tipo "T" de PVC

Para el sistema de control se opta por usar dos sistemas embebidos tipo Arduino, sus ventajas radican en la facilidad de su programación y la variedad de componentes compatibles con su hardware y software.

En cuanto a las comunicaciones existen diversos módulos que permiten la interacción entre ellos, dependiendo de su distancia y capacidad de procesar la información se emplean unos u otros, para el caso se usan dos módulos con protocolo de comunicaciones ZigBee IEE 802.15.4 en donde existen diversos fabricantes que proveen el tipo de hardware necesario para su implementación, para el caso en cuestión se usan los productos de la casa fabricante MaxStream conocidos comúnmente como XBee.

Diseño 3D Robot Multiterreno

Una vez conocidos todos los componentes que integrarán al robot se realiza un bosquejo en tres dimensiones que permita visualizar de forma preliminar como serán integrados todos sus componentes.

En la Figura 2 se muestra la geometría básica de la base del modelo 3D, así como las medidas del mismo para la correcta alineación de los componentes, se establecen espacios para cada uno de ellos para su posterior unión.

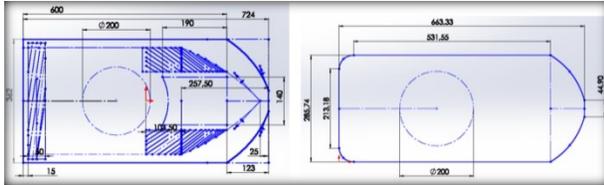


Figura 2. Geometría básica del vehículo- lamina superior e inferior.

Una vez establecidas las medidas se procede a dar volumen a todas las partes que conformaran los sistemas de sustentación y propulsión, así como se ilustra en la Figura 3 Este proceso se realiza mediante la herramienta "Extruir" de SolidWorks

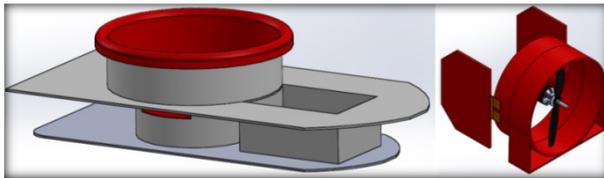


Figura 3. Extrusión de los sistemas de suspensión y propulsión

Con las piezas diseñadas es posible realizar un ensamblaje preliminar de los principales componentes del *Hovercraft* verificando sus medidas y distancias para un correcto acople de sus elementos, a continuación, en la Figura 4 se muestra la disposición de los principales sistemas en el vehículo, en donde se pueden observar los espacios para la electrónica de control, timones de orientación y las toberas de suspensión y propulsión.

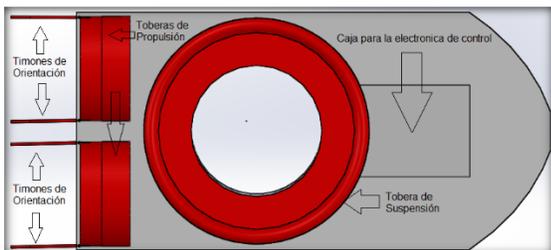


Figura 4. Ensamble preliminar sistema de suspensión y propulsión

En la Figura. 5 se verifica el recorrido del brazo mecánico, y búsqueda de las medidas más convenientes en el vehículo, teniendo en cuenta los diferentes factores como libertad de movimiento, posición de descanso del brazo, y el punto adecuado para la visión remota del mismo.

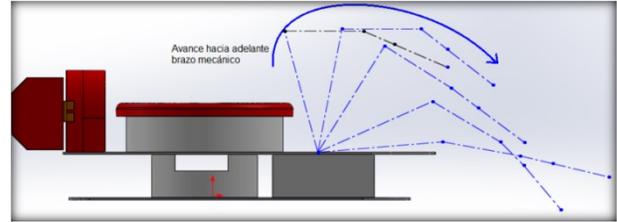


Figura. 5 Determinación de medidas para el brazo mecánico

En la Figura 6 se tienen los principales componentes para la sujeción de los servomotores y las bases para los sensores de posición.

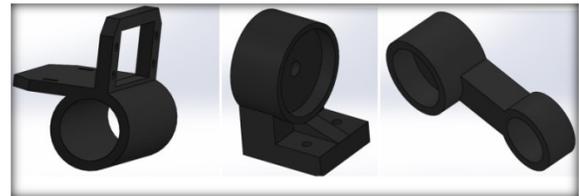


Figura 6. Piezas 3D soporte de sensores y servomotores brazo mecánico

Para transmitir potencia de los servomotores hacia las dos primeras articulaciones del brazo mecánico se opta por modificar los servos a 360 grados y usar una transmisión de corona más tornillo sin fin, esto tiene por ventaja que permiten ahorrar un consumo de corriente necesario y útil debido a que será un robot controlado remotamente.

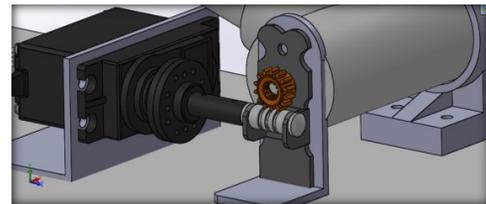


Figura 7. Sistema de transmisión primera y segunda articulación

Finalmente, para la tercera articulación, se agrega un movimiento diferenciador que permita recolectar y depositar las muestras de modo más fácil. Así como se ilustra en la Figura 8.

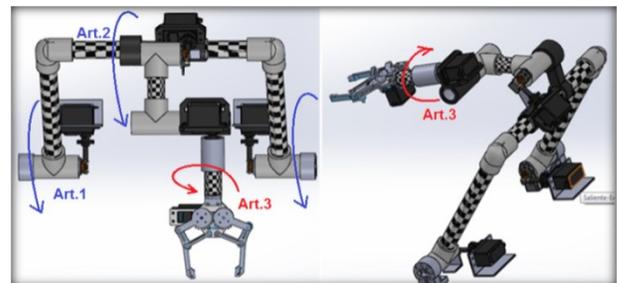


Figura 8. Ensamble y diseño final del brazo mecánico

Finalmente se ajustan detalles de diseño y se incluyen piezas adicionales para dar una mejor apariencia al modelo, se agrega la caja de muestras para la recolección del material flotante y la bolsa de aire, en la Figura 9 se puede visualizar el ensamble completo del modelo.

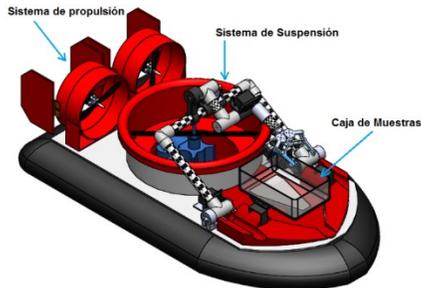


Figura 9. Diseño y ensamble final del modelo 3D

Diseño sistema de control y comunicaciones

Para lograr una comunicación y control de todos los actuadores presentes en el robot se hacen necesarios una cierta cantidad de puertos de I/O de los dos sistemas embebidos, para lo cual y como se había mencionado serán usados dos sistemas embebidos tipo Arduino que presentan diferentes especificaciones técnicas, a continuación, se muestran las de más relevancia

Arduino UNO:

- Procesador: Atmega 328
- Voltaje: 5V
- I/O digitales: 14
- Pines PWM: 6
- Entradas analógicas: 6
- Frecuencia de reloj: 16Mhz

Arduino Mega:

- Procesador: Atmega 2560
- Voltaje: 5V
- I/O digitales: 54
- Pines PWM: 12
- Entradas analógicas: 16
- Frecuencia de reloj: 16Mhz

Para el Arduino uno sus entradas y salidas son más que suficientes para su uso como transmisor, para el caso del Arduino mega su función será de receptor puesto que serán necesarias más entradas y salidas para el manejo de sensores y actuadores. A continuación, en la Figura 10 se muestra el esquema general que compone al sistema de transmisión.

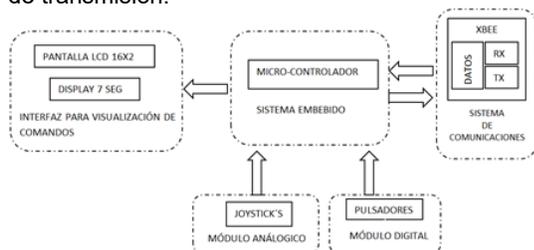


Figura 10. Esquema general del sistema de TX

En la Figura 11 se muestra el esquema general para el sistema de recepción, el cual será el encargado de controlar todos los actuadores del vehículo y brazo mecánico.

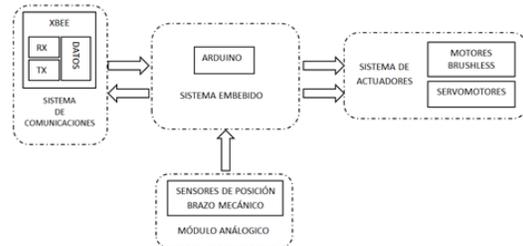


Figura 11. Esquema general del sistema de RX

Después de conocer y establecer los requerimientos para el sistema de RX y TX se procede con el diseño y fabricación de las tarjetas electrónicas. A continuación, en la Figura 12 se muestra el resultado final.

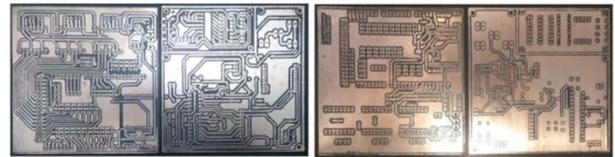


Figura 13. Diseño y fabricación de tarjetas electrónicas

Los impresos fueron realizados con el software Eagle-cadsoft, en doble capa utilizando la técnica conocida como plancha y químicos para la extracción del material sobrante. Una vez obtenidos los impresos se procede con el ensamble de sus componentes electrónicos, el resultado final se ilustra en la Figura 14.



Figura 14. Ensamble final tarjetas electrónicas RX y TX

Debido a que el robot será teleoperado a distancia se hace necesaria la inclusión de un sistema de visión que permita la manipulación y el control manual de modo más fácil, por lo tanto, se opta por usar un kit de visión como se ilustra en la Figura 15.



Figura 15. sistema de visión complementario

Diseño 3D Sistema de Transmisión

Al contar con todos los componentes para el sistema de transmisión es posible realizar un bosquejo 3D que permita la visualización de los mismos y su integración conjunta. Los materiales comunes para el diseño y fabricación son el acrílico y plástico, esto en base a experiencias similares en la construcción de este tipo de controles caseros.

En el diseño se modelan dos tapas en acrílico para la parte superior e inferior, los componentes serán asegurados desde dichas tapas tal y como se muestra en la Figura 16.

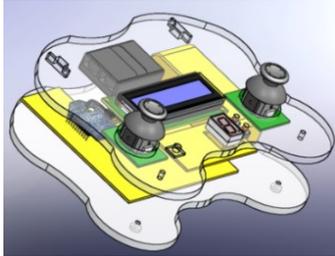


Figura 16. Diseño preliminar 3D control remoto

Para dar un mejor acabado al control se opta por agregar otra tapa que rodee todo el contorno y separe los componentes internos, así como se ilustra en la Figura 17.

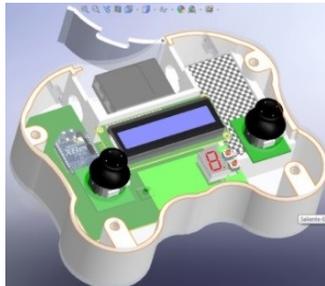


Figura 17. Diseño final del control remoto

Construcción del Robot y el Control Remoto

Se adquieren los componentes y materiales necesarios para la fabricación, se inicia con los moldes para las toberas de suspensión y propulsión. Ver Figura 18.



Figura 18. Moldes toberas de suspensión y propulsión

Una vez obtenidos los moldes se procede con la aplicación de fibra de vidrio un compuesto de buenas prestaciones y fácil de moldear, en la Figura 19; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se pueden observar los resultados finales del secado.



Figura 19. Fase de secado fibra de vidrio

El tiempo de secado recomendado es de (12-24 horas), luego de cual se procede con el desmolde, verificación de medidas, corte y pulido de las piezas. Así como se observa en la

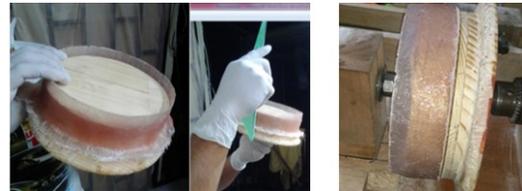


Figura 20. Verificación de medidas y corte de material excedente

Para el timón de orientación se opta por utilizar madera contrachapada de 3mm de espesor, se realizan los cortes necesarios y son unidas a las toberas de propulsión mediante pequeñas "bisagras" en la Figura 21 se muestra la tobera completa unida al timón de orientación.



Figura 21. Tobera de propulsión con timón de orientación

La tobera de suspensión se fabrica con fibra de vidrio, al igual que las toberas de propulsión primero se fabrica un molde en cartón y luego se le aplica fibra de vidrio, se espera el tiempo de secado y se hace el desmolde de la tobera. En la Figura 22 se puede observar la tobera terminada.



Figura 22. Tobera de suspensión

Para la base superior e inferior del vehículo se utiliza láminas de madera contrachapada de 3mm de espesor, se dibujan las medidas y se procede con los cortes, así como se ilustra en la Figura 23.



Figura 23. Base del vehículo

Una vez lista la base y la tobera de suspensión se procede a ensamblar estos componentes y unirlos por debajo con fibra de vidrio, así como se muestra en la Figura 24.



Figura 24. Ensamble tobera de suspensión y base

Para la construcción del brazo mecánico se usa material de PVC como se había mencionado anteriormente, Es de anotar que la transmisión de tornillo sinfín y corona se obtuvo de los instrumentos musicales como guitarras y bajos



Figura 25. Unión de tornillo sinfín y "T" de PVC

En la Figura 25 se observa la unión realizada de los ejes de los tornillos sinfín y las "T" de PVC, para esta unión se hace uso de resina, a fin de rellenar y sellar los espacios vacíos dentro de la "T" de PVC.

Por otra parte, en la Figura 26 se muestra la base que sostendrá el sensor y que servirá de soporte para la unión en "T". Esta base es fabricada con tecnología de impresión 3D en calidad media, se decide realizar esta impresión por la complejidad en su diseño y la demora que tomaría si se realizara de modo artesanal.

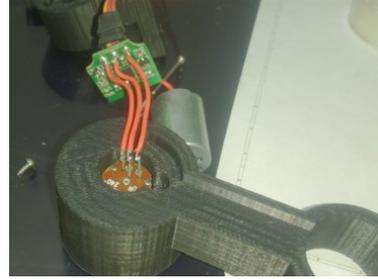


Figura 26. Impresión 3D piezas sujetadoras de sensores

Los tubos de PVC se cortan según las medidas establecidas en el diseño 3D, a continuación, en la Figura 27 se muestra el ensamble preliminar de las piezas.



Figura 27. Ensamble preliminar del brazo mecánico

Para el efector final se hace uso de un modelo comercial y se modifica su base para agregar el mismo mecanismo de transmisión de tornillo sinfín y corona a fin de poder sostener objetos durante lapsos de tiempo prolongados, en la Figura 28 se muestra el resultado final.



Figura 28 Modificación pinza robótica

Con todas las piezas cortadas y fabricadas se realiza un ensamble preliminar del vehículo y brazo mecánico para detectar errores y ajustar medidas. A continuación, en la Figura 29 se muestra dicho ensamble.



Figura 29. Ensamble preliminar completo del Robot

Una vez verificados los espacios de los componentes se procede con el pulido final de las piezas y la base, para lo

cual se usa masilla utilizada en la reparación de automóviles. Así como se ilustra en la Figura 30.



Figura 30. Aplicación de masilla y pulido de piezas

Para dar un mejor acabado y agregar protección extra contra el ambiente de trabajo se opta por agregar pintura de tipo vinílico. El proceso de pintura inicia con la aplicación de una base anticorrosiva como se ilustra en la Figura 31, esta base permite una mejor adherencia de sus capas posteriores de pintura.



Figura 31. Aplicación de base anticorrosiva

Con la base anticorrosiva aplicada y después de esperar el tiempo de secado (15 – 30 min) se procede con la aplicación de la pintura. Ver la Figura 32



Figura 32. Aplicación de las capas de pintura

Después del tiempo de secado y ensamblar todos los componentes en el vehículo el resultado final es el que se muestra en la Figura 33.



Figura 33. Ensamble final de la base del vehículo sistema de suspensión, propulsión y brazo mecánico

La falda por otro lado se construye de material vinílico, más específicamente caucho *vinicoat*, a continuación, en

la Figura 34 se muestra el diseño de la bolsa y resultado final de su construcción.

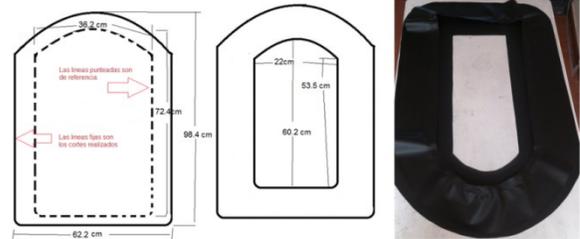


Figura 34. Falda tipo bolsa

Finalmente se realiza el ensamblaje final de la bolsa y el robot, en la Figura 35 se ilustra el resultado final.



Figura 35. Ensamble final con bolsa

Para la construcción del control remoto se usa material de tipo acrílico y cortes realizados mediante CNC (Control numérico por computadora). A continuación, en la Figura 36 se muestra el resultado preliminar.



Figura 36. Ensamble preliminar control remoto

La fabricación de la tapa de plástico lateral se realiza mediante tecnología de impresión 3D debido a la dificultad que implica crearla en modo artesanal. A continuación, en la Figura 37 se expone el ensamblaje final con la pieza fabricada en impresión 3D.



Figura 37. Ensamble final control remoto

RESULTADOS

Mediante el uso de herramientas CAD o 3D se minimiza el error de fabricación de cualquier dispositivo, así como se observa en el presente documento, ya que permite determinar espacios y medidas ajustados a la realidad.

Para lograr un exitoso diseño 3D se deben realizar cálculos previos para la selección de sus componentes, así como una investigación de los materiales disponibles para su uso. En el caso que nos compete esos cálculos ya habían sido realizados por lo que se presentó de manera directa los resultados y los componentes seleccionados, enfocando solo la parte de diseño CAD y su construcción física.

El proceso de construcción contrajo beneficios de toda índole, como por ejemplo el correcto uso de materiales compuestos como el usado para la fabricación del vehículo *Hovercraft* (Fibra de Vidrio). Por otro lado, el manejo adecuado de herramientas también permitió un resultado exitoso.

Con las medidas establecidas en el diseño CAD, la alineación de componentes y partes dentro y fuera del vehículo, así como el control remoto surgieron sin mayores contratiempos.

DISCUSIÓN

Al construir robots o proyectos semejantes siempre se encuentra el obstáculo de que material usar para su fabricación, y aunque dependiendo de su finalidad se selecciona el más ajustado, los materiales compuestos son una alternativa muy conveniente de explorar, es tanto así que algunos de los carros más lujosos son construidos en su mayoría por materiales compuestos.

Cuando se construyen proyectos similares al presentado siempre se optan por materiales fáciles de trabajar y livianos como es el caso del vehículo *Hovercraft* en donde prima la espuma y el icopor, pero que finalmente presentaron un deterioro acelerado en su estructura por la fragilidad de los mismos. En el caso del material seleccionado para el presente proyecto (fibra de vidrio) se encuentra que posee propiedades de resistencia altas a bajo peso, además de que se puede reparar muy fácilmente y su tiempo de secado se puede acelerar aplicando el calor directamente a su compuesto.

CONCLUSIONES

El proceso de fabricar un robot conlleva a contemplar parámetros a veces muy complejos, sin mencionar los cálculos necesarios para su correcta implementación, sin embargo, haciendo uso del modelado CAD o 3D es posible determinar errores no percibidos a primera vista.

El uso de diversas técnicas y tecnologías en prototipado logran obtener resultados precisos y estéticos de muy buen nivel.

El conocer y aprender a manejar materiales compuestos abre un abanico de posibilidades para futuras aplicaciones e implementaciones.

La construcción de un proyecto con estas características no debe tomarse a la ligera, al contrario, se deben seguir pautas y pasos tomando como ejemplo experiencias similares. La finalidad del artículo es presentar al lector como construir un robot con acabado y estética agradable sin tener herramientas y maquinas complejas.

REFERENCIAS

1. Marisol Chong. (2003) monografias.com. [Online]. <http://www.monografias.com/trabajos13/intar/intar.shtml>
2. James Hovercraft. (1999-2016) [Online]. <http://www.jameshovercraft.co.uk>
3. Written by pgalvisvera. (2012) [Online]. <https://pgalvisvera.wordpress.com/brazo-robotico/>
4. Reina Jerez, K., & Peiró Vispe, S. (2016). Estudio, diseño y construcción de un Hovercraft por control remoto de 0, 63 metros de eslora (Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).
5. Álvarez Sánchez, D. (2009). Design of a remote controlled hovercraft.
6. Espinosa Sèmpere, R. F. (2008). Diseño y construcción de un vehículo anfíbio para 20 pasajeros soportado en colchón de aire para el golfo de Nicoya-Costa Rica (Bachelor's thesis, ESPOL. FIMCM: Naval).