



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



CARLOS OBANDO
PEDRO GARZÓN



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE UBICACIÓN EN LA PLATAFORMA ROBÓTICA PARA EXTERIORES TELEOPERADA DEL LABORATORIO DE MANUFACTURA

REALIZADO POR: **GARZÓN JARAMILO PEDRO MIGUEL**
OBANDO MALDONADO CARLOS ANDRÉS

DIRECTOR: **MSc. LOZA MATOVELLE DAVID CÉSAR**

SANGOLQUÍ – ECUADOR

2016



CONTENIDO

- Objetivos
- Introducción
- Estado del arte
- Diseño y Construcción
- Pruebas y Resultados
- Conclusiones y Recomendaciones



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

OBJETIVOS

General



Desarrollar un sistema de ubicación en la plataforma robótica para exteriores teleoperada del laboratorio de manufactura.

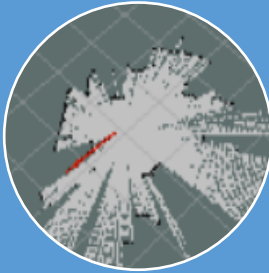


ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

OBJETIVOS

Específicos



Implementar un sistema de localización y mapeo simultáneo por medio de un algoritmo que permita explorar un lugar.



Diseñar y ajustar los ejes con un diámetro adecuado de las llantas.



Resolver problemas de movilidad e impermeabilidad existentes en la plataforma.



ESPE

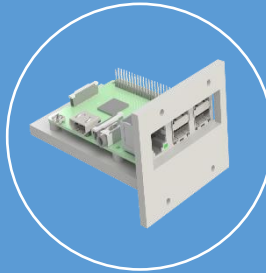
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

OBJETIVOS

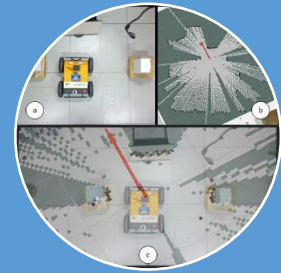
Específicos



Realizar una interfaz amigable con el usuario y fácil de usar para el control de la plataforma.



Unificar los sistemas de monitoreo y control en un solo dispositivo por medio de un sistema embebido.



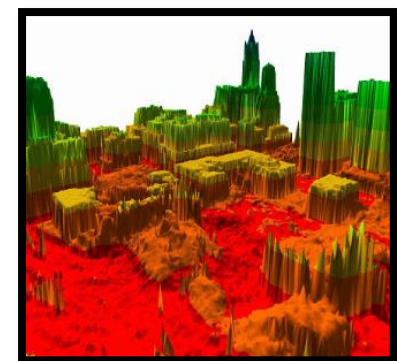
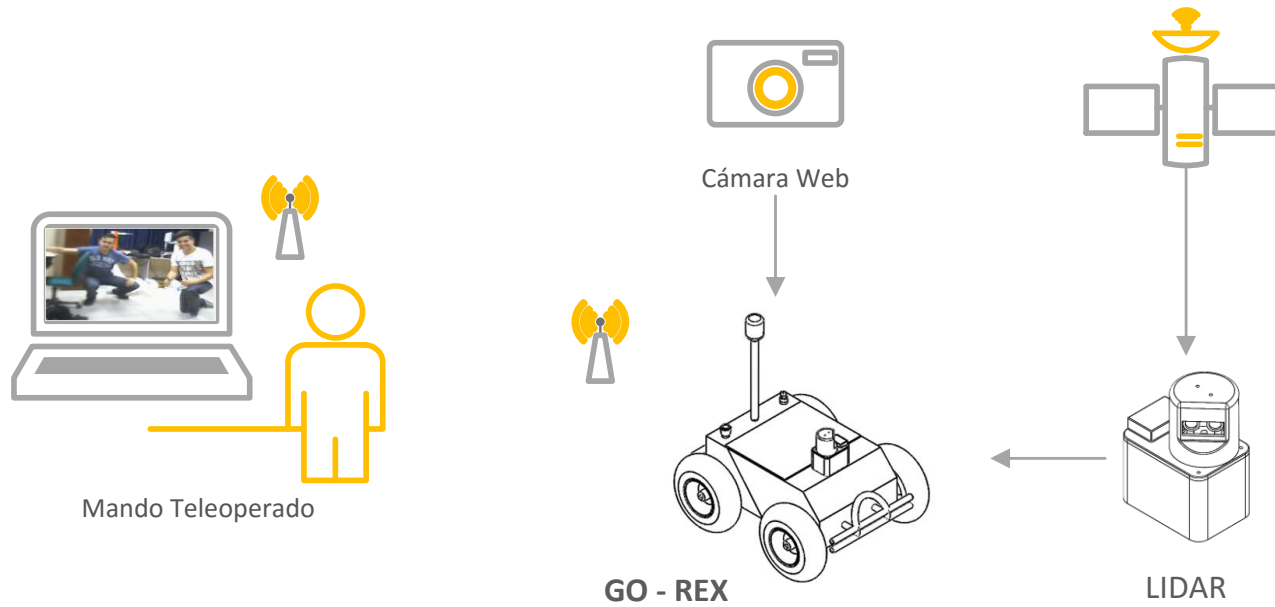
Realizar pruebas de funcionalidad y efectuar correcciones.



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

INTRODUCCIÓN



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

ESTADO DEL ARTE

Robótica Móvil



Percepción

Interpretar los datos que le suministra sus sensores para extracción de información útil

Localización

Determinar su posición en el entorno

Planificación

Decidir cómo actuar para alcanzar el objetivo

Control de
Movimiento

Gestionar sus actuadores para conseguir la trayectoria deseada



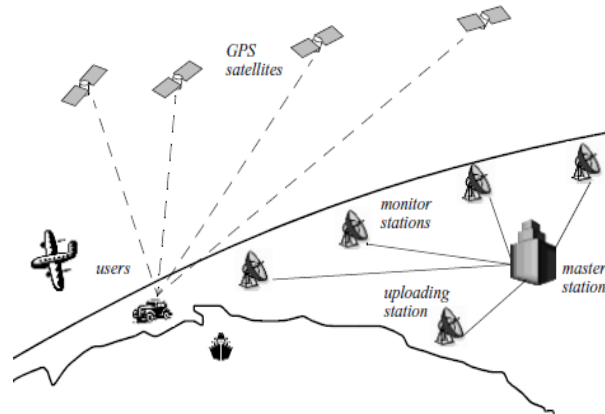
ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

ESTADO DEL ARTE

NAVEGACIÓN

Percepción



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

ESTADO DEL ARTE

NAVEGACIÓN

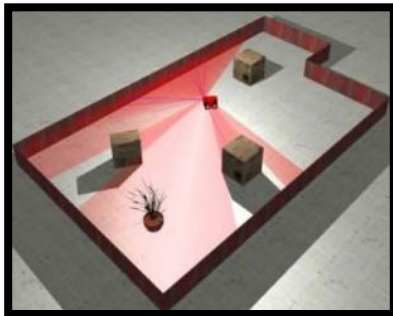
Localización



Global

GPS

Odometría



Local

SLAM

Marcas



ESPE

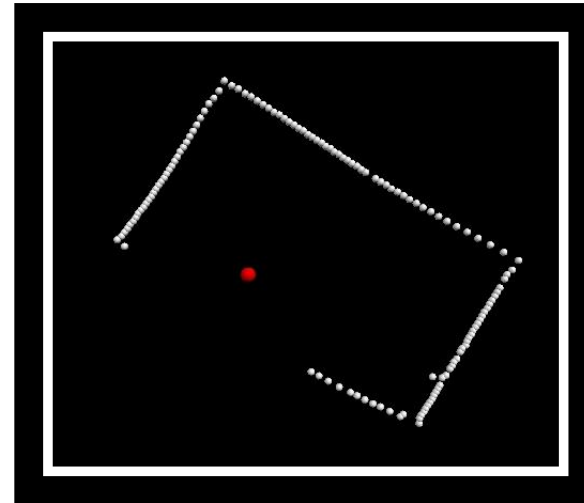
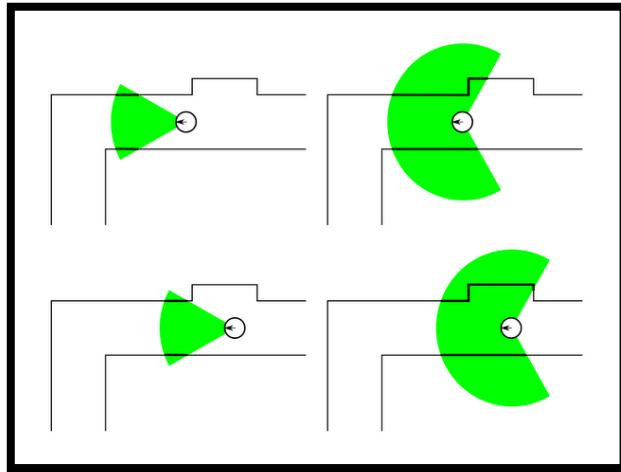
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

ESTADO DEL ARTE

NAVEGACIÓN

SLAM

El SLAM (Simultaneous Localization and Mapping), permite al robot móvil crear un mapa consistente de manera incremental a medida que avanza por un entorno desconocido.



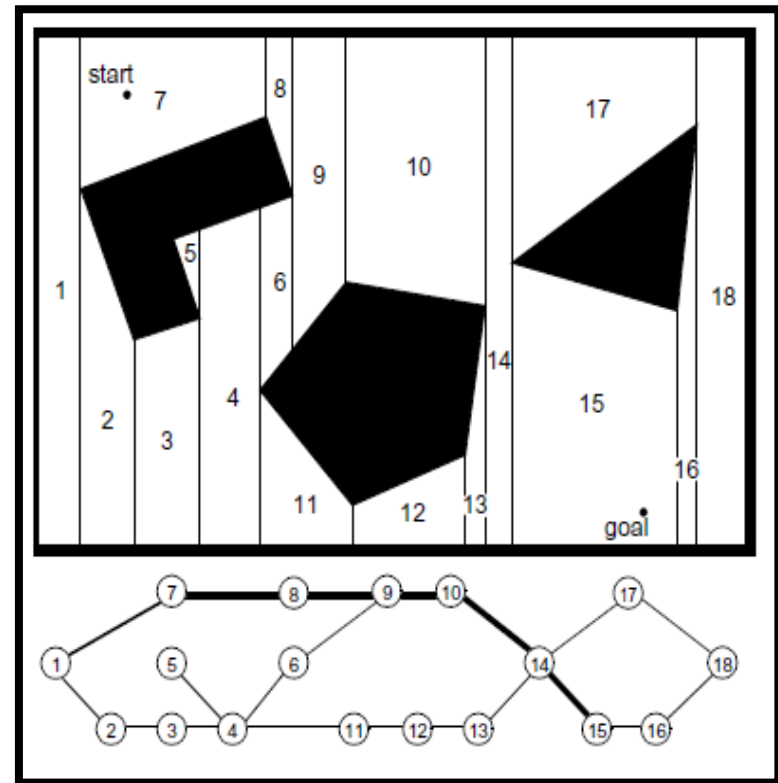
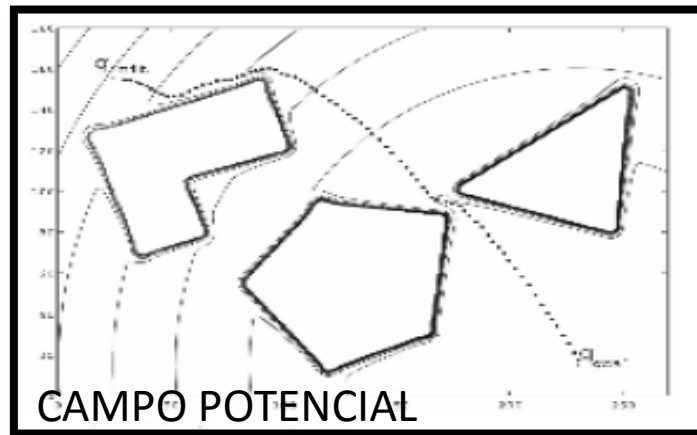
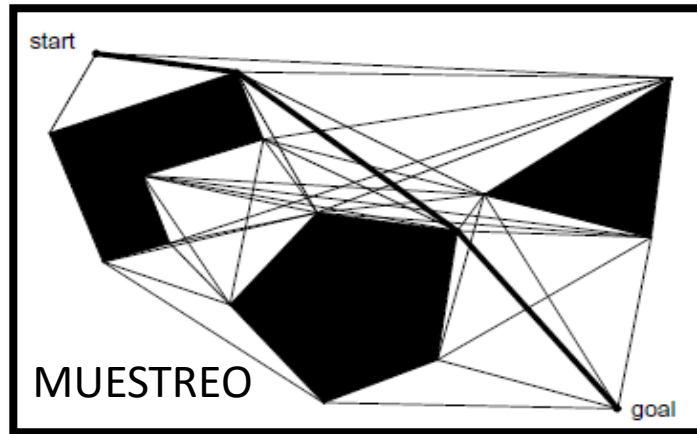
ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

ESTADO DEL ARTE

NAVEGACIÓN

Planificación



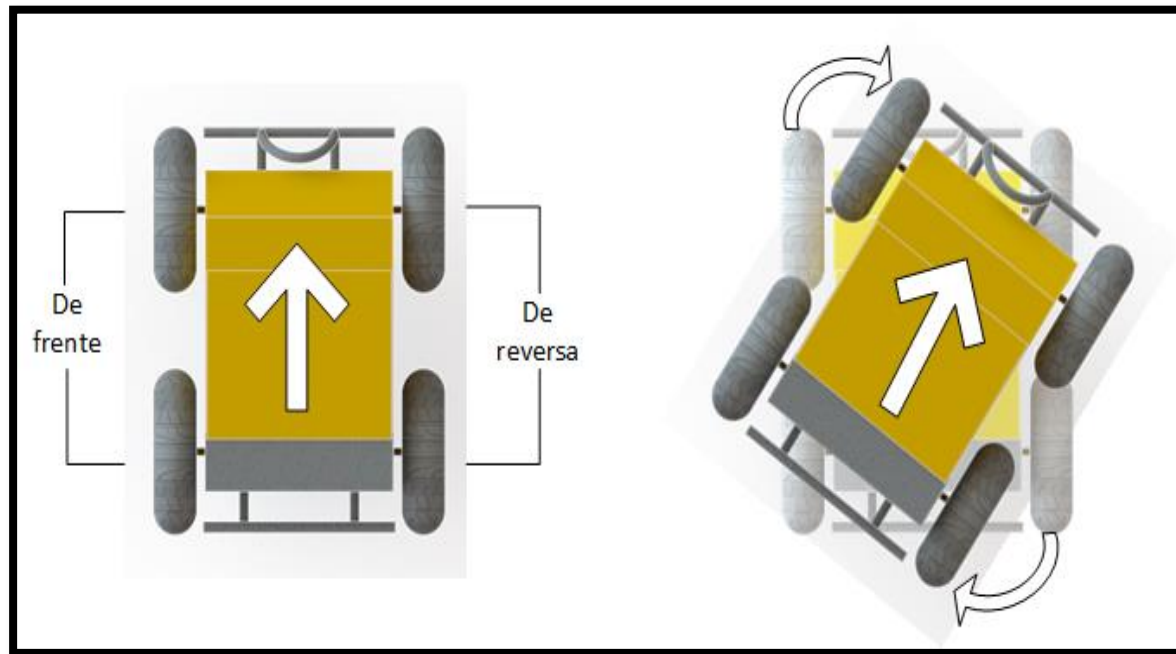
ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

ESTADO DEL ARTE

NAVEGACIÓN

Control de movimiento

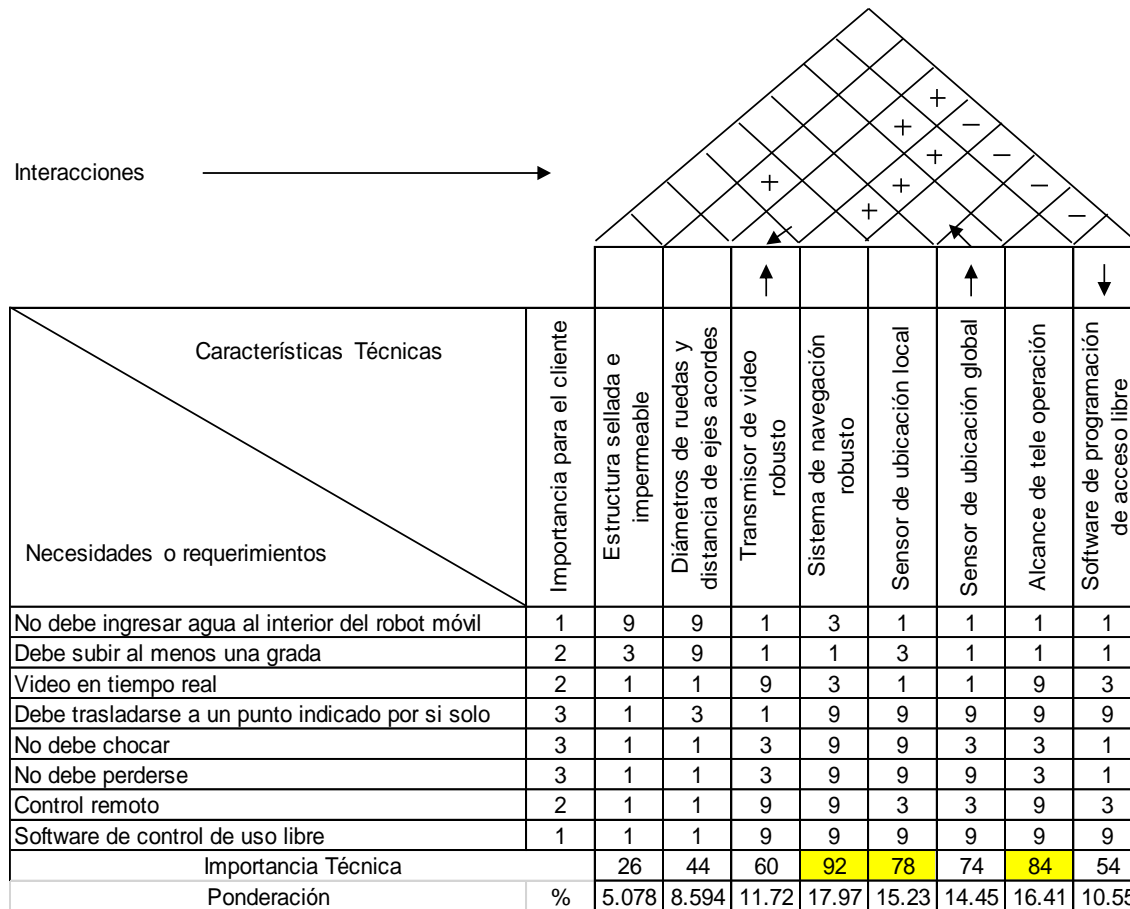


ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DISEÑO

DESPLIEGUE DE LA FUNCIÓN DE CALIDAD (QFD)



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DISEÑO

CLASIFICACIÓN EN MODULOS

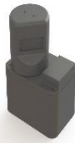
#	MÓDULO	SUBSISTEMAS	FUNCIONES
1	Ubicación	Ubicación global	Geolocalización del robot
		Ubicación local	Conocimiento del entorno
2	Monitoreo	Cámara a bordo	Video en tiempo real
		Interfaz	Comunicación humano - máquina
3	Estructura	Ruedas	Capacidades todoterreno
		Cubierta	Impermeabilizar
4	Adquisición y mando	N/A	Control en bajo nivel
			Adquisición de datos
5	Comunicación	N/A	Envío y recepción de señales



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

ETAPAS DE DESARROLLO



Sistema de ubicación



Sistema mecánico



Sistema electrónico



Software y Control



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

ETAPAS DE DESARROLLO



Sistema de ubicación



Sistema mecánico



Sistema electrónico



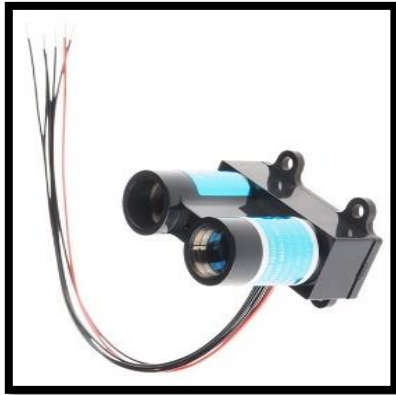
Software y Control



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

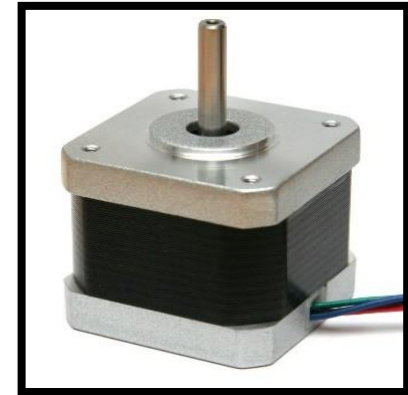
SISTEMA DE UBICACIÓN



LIDAR Lite V 2



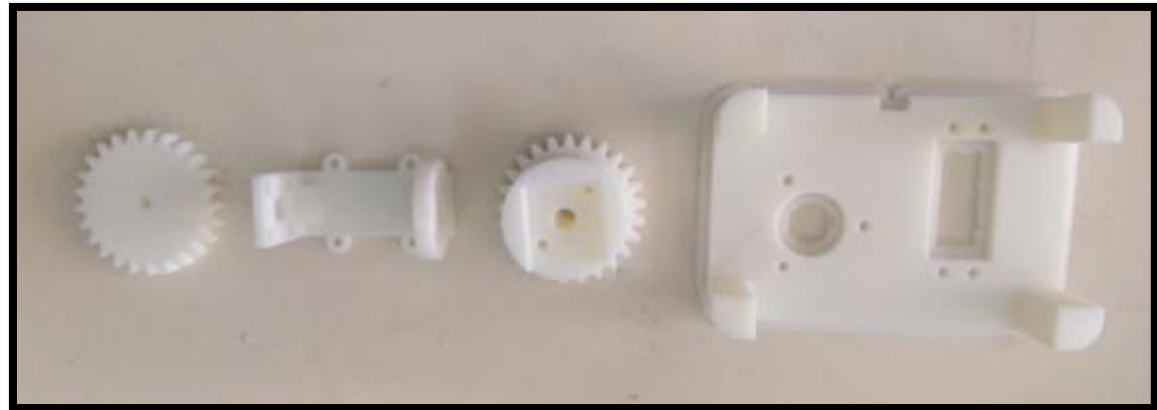
GPS EM-506



Motor paso a paso NEMA 17



Anillo colector



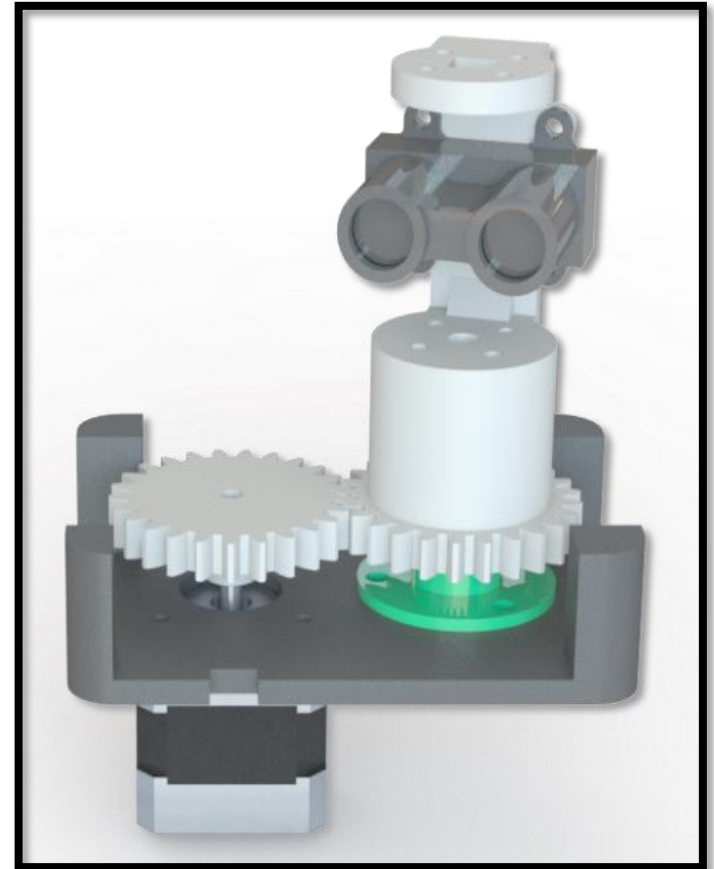
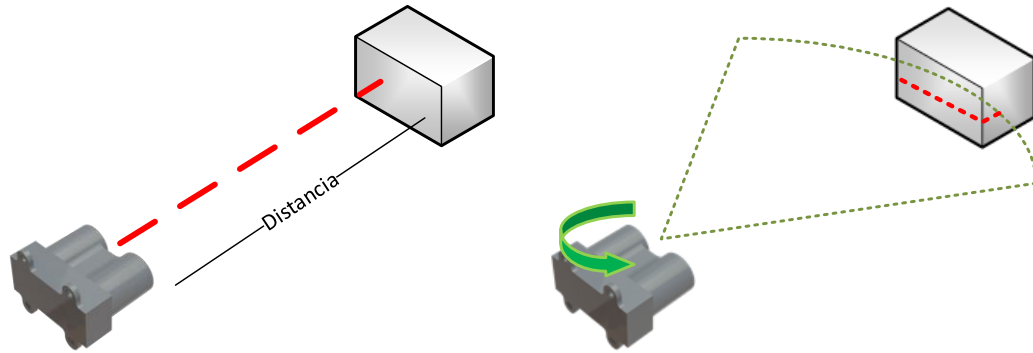
Piezas plasticas ABS



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

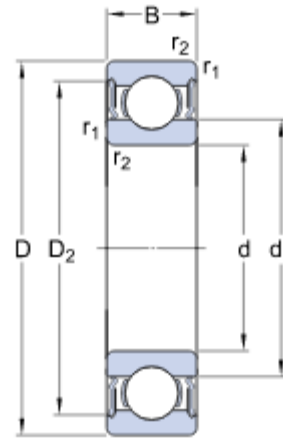
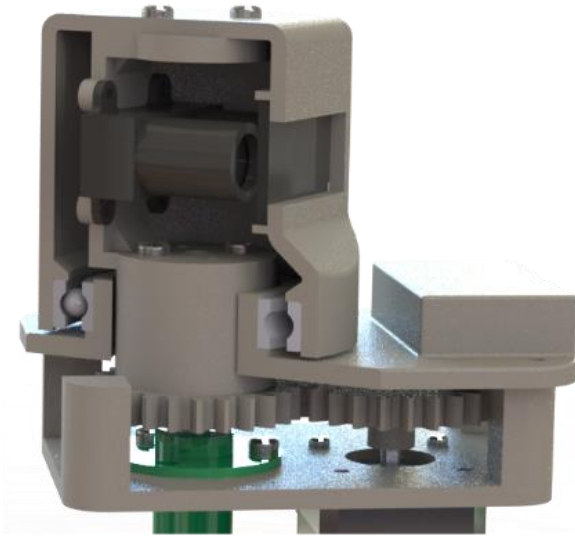
SISTEMA DE UBICACIÓN



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

SISTEMA DE UBICACIÓN



61910-2RS1

d		50	mm
D		72	mm
B		12	mm
d ₁	≈	56.9	mm
D ₂	≈	67.3	mm
r _{1,2}	min.	0.6	mm

Capacidad de carga dinámica	d ₀	14.6	kN
Capacidad de carga estática	C ₀	11.8	kN
límite de carga de fatiga	P _u	0,5	kN
velocidad límite		5600	r / min
factor de cálculo	k _r	0.02	
factor de cálculo	f ₀	16.1	



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

SISTEMA DE UBICACIÓN

$$M_o = f_o * (n * v)^{\frac{2}{3}} * dm^3 * 10^{-7}$$

$$M_o = 16.1 * (60 * 200)^{\frac{2}{3}} * 61^3 * 10^{-7}$$

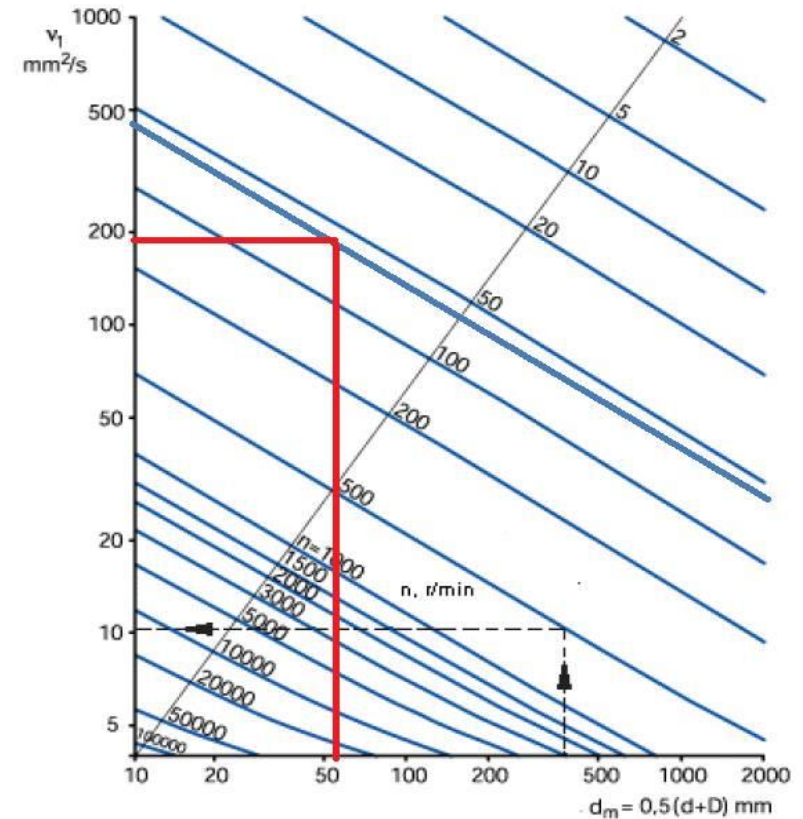
$$M_o = 191.5 \text{ Nmm}$$

$$M = f_1 * (n * v)^{\frac{2}{3}} * dm^3 * 10^{-7}$$

$$M = 1.1 * (60 * 200)^{\frac{2}{3}} * 61^3 * 10^{-7}$$

$$M = 13.086 \text{ Nmm}$$

Required viscosity v_1 at operating temperature



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

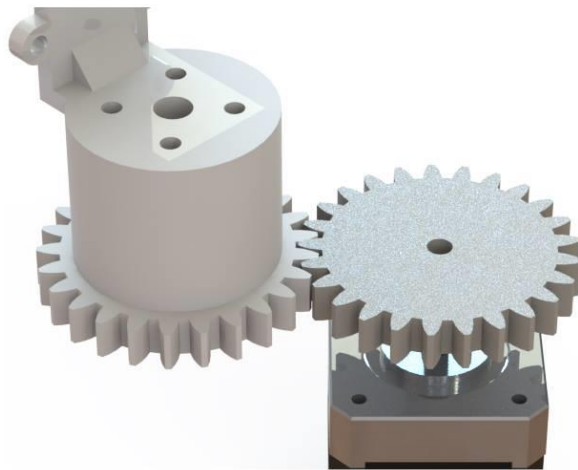
SISTEMA DE UBICACIÓN

$$m = \frac{D_p}{N}$$

$$k = (17 * BHN - 428) * \sin 20 \left(\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} \right)$$

$$k = (17 * 1520 - 428) * \sin 20 \left(\frac{2}{2300} \right)$$

$$k \rightarrow 20.17$$



$$F_t = \frac{M}{r} = \frac{1.35}{2.5}$$

$$F_t \rightarrow 0.54 \text{ N}$$

$$F_w = 2 * D_p * b * k * \left(\frac{z_2}{z_1 + z_2} \right)$$

$$F_w = 2 * 5 * 0.6 * 20.17 * \left(\frac{1}{2} \right)$$

$$F_w = 6.05 \text{ N.}$$

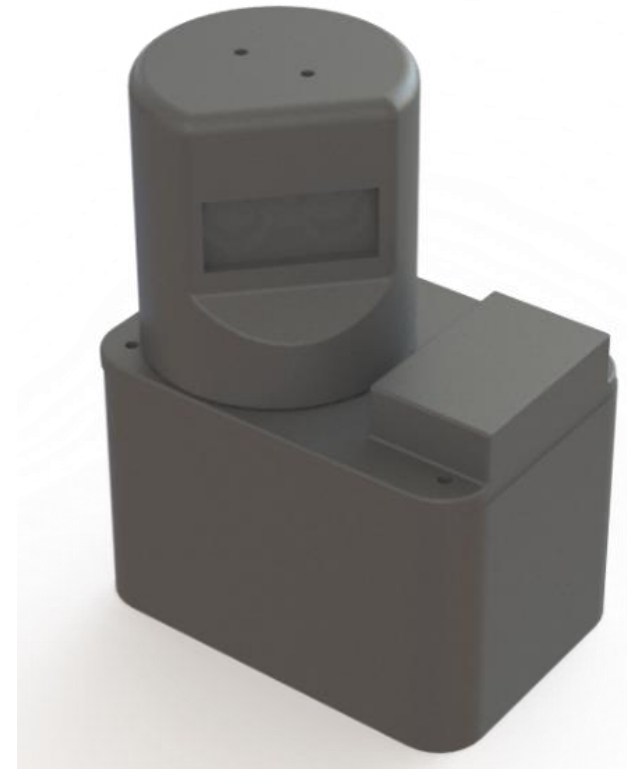
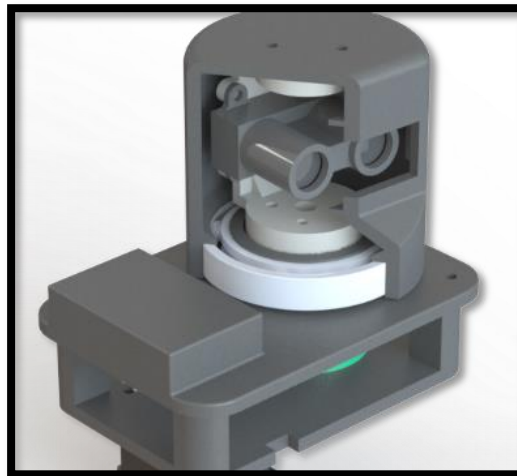
$$F_t < F_w$$



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

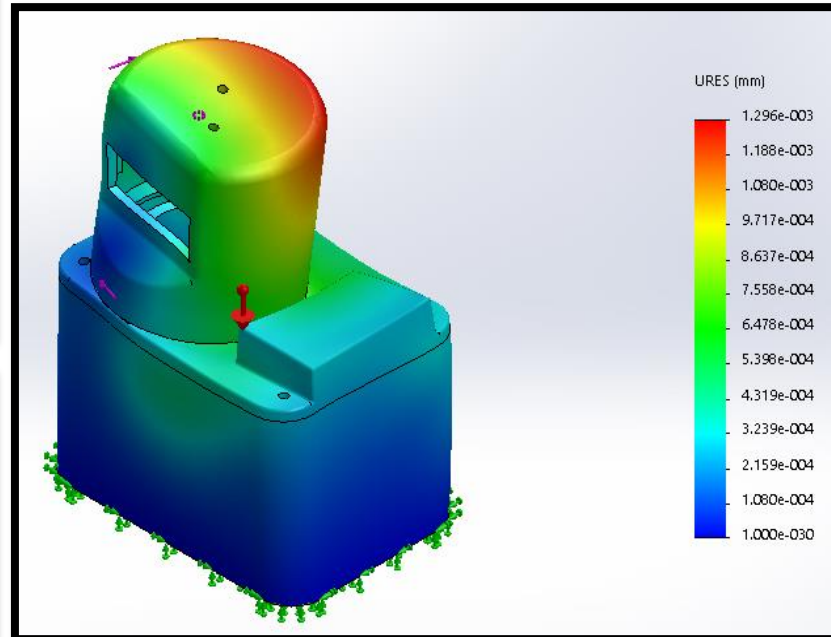
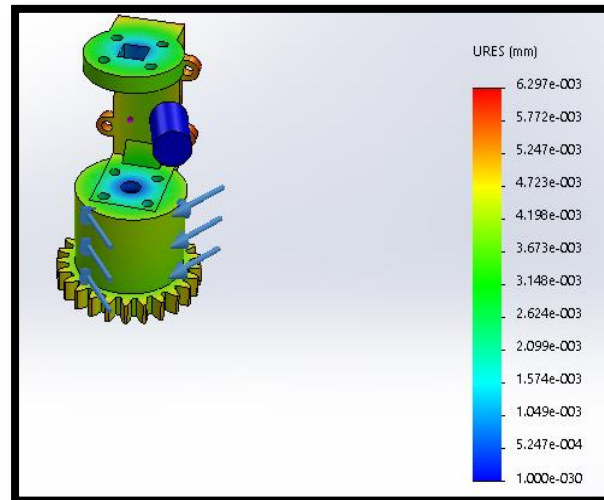
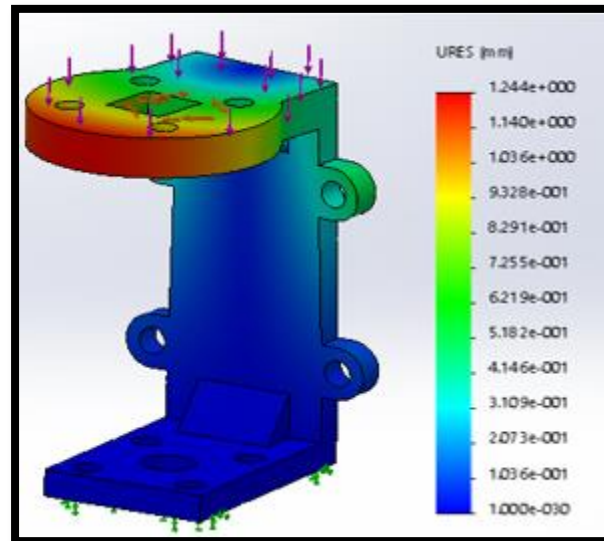
SISTEMA DE UBICACIÓN



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

SISTEMA DE UBICACIÓN



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

ETAPAS DE DESARROLLO



Sistema de ubicación



Sistema mecánico



Sistema electrónico



Software y Control

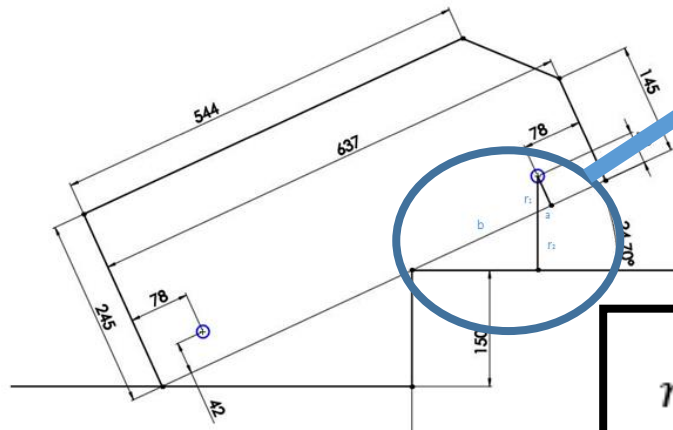
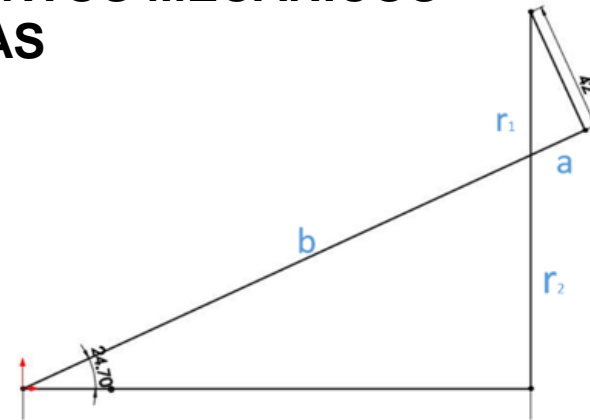
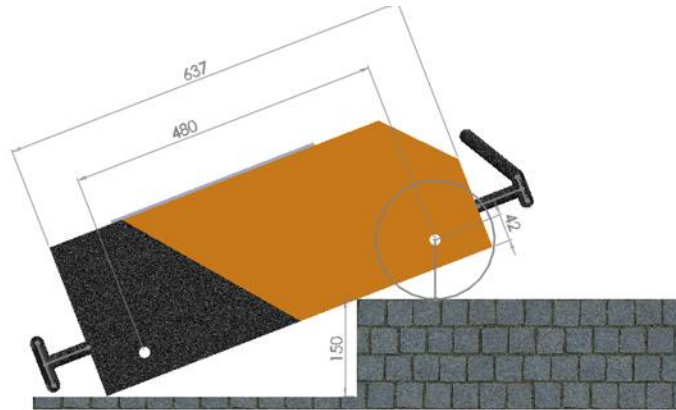


ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

SISTEMA MECÁNICO

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ELEMENTOS MECÁNICOS ACONDICIONAMINETO DE LAS RUEDAS



$$r = 151.33 \text{ mm}$$

$$r = r_1 + r_2$$

$$r_1 \sin(65.3) = 42$$

$$a = r_1 \sin(24.7)$$

$$r_2 = b \sin(24.7)$$

$$b = \frac{637}{2} - a - 78$$

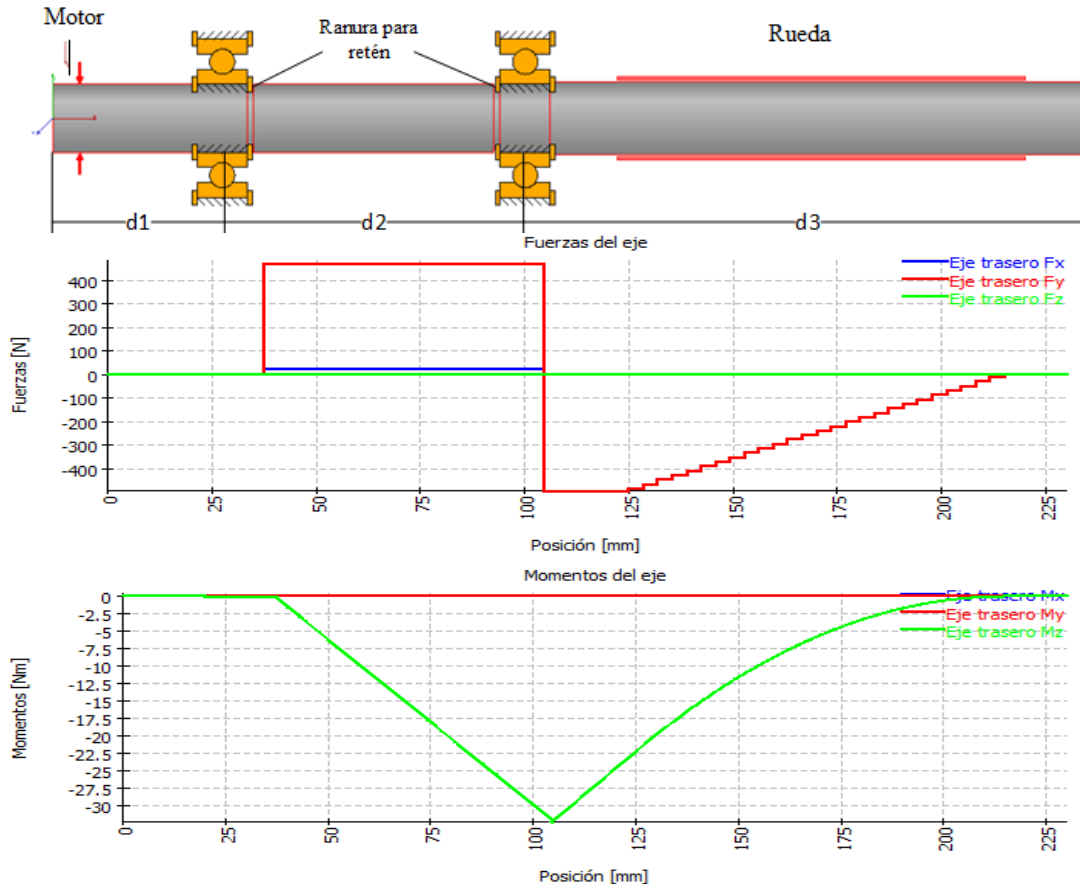


ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

SISTEMA MECÁNICO

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ELEMENTOS MECÁNICOS ACONDICIONAMIENTO DE LAS RUEDAS



$$d = \left\{ \frac{16n}{\pi} \left(\frac{2(K_f M_a)}{S_e} + \frac{[3(K_{fs} T_m)^2]^{1/2}}{S_{ut}} \right) \right\}^{1/3}$$

$$S_c = K_a K_b K_c K_d K_e K_f S'_e$$

$$n=1,3$$

$$d = 13,72 \text{ mm}$$



SISTEMA MECÁNICO

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ELEMENTOS MECÁNICOS
ACONDICIONAMINETO DE LAS RUEDAS



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

SISTEMA MECÁNICO

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ELEMENTOS MECÁNICOS SELLADO DE LA ESTRUCTURA



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

SISTEMA MECÁNICO



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

ETAPAS DE DESARROLLO



Sistema de ubicación



Sistema mecánico



Sistema electrónico



Software y Control



ESPE

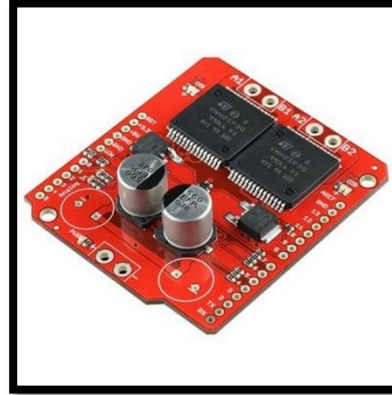
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

SISTEMA ELECTRÓNICO

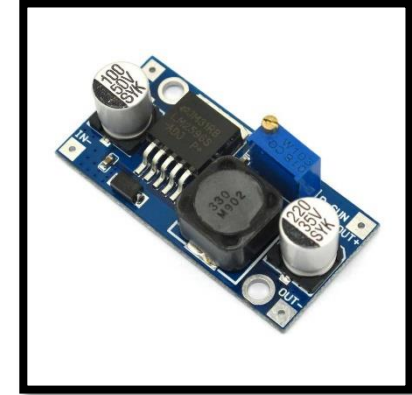
DISEÑO Y SELECCIÓN COMPONENTES ELECTRÓNICOS



Raspberry pi 2 model B



Monster Motor Shield



Lm2596 dc-dc Buck



A4988 Stepper Motor Driver



Circuito Acondicionamiento

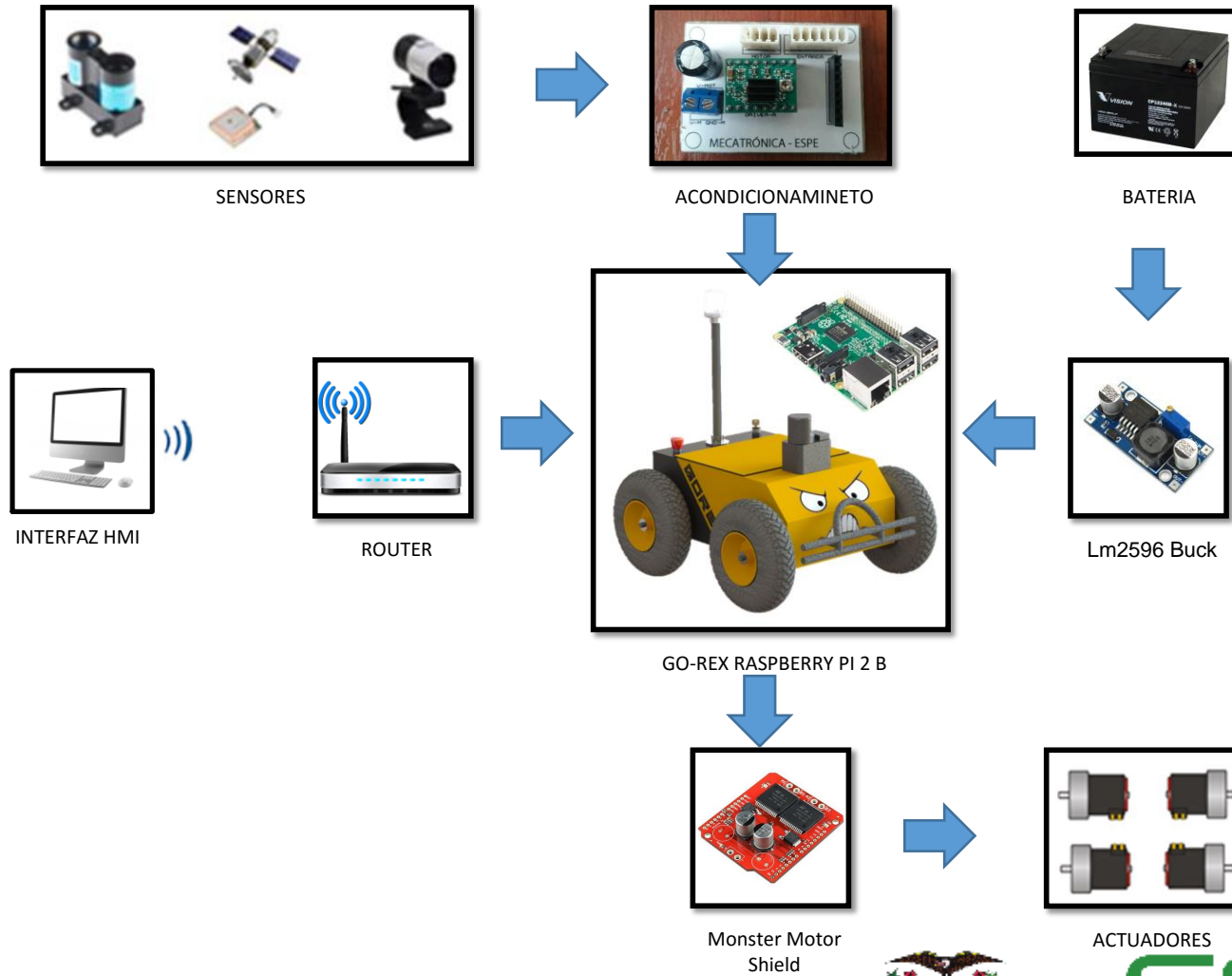


ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

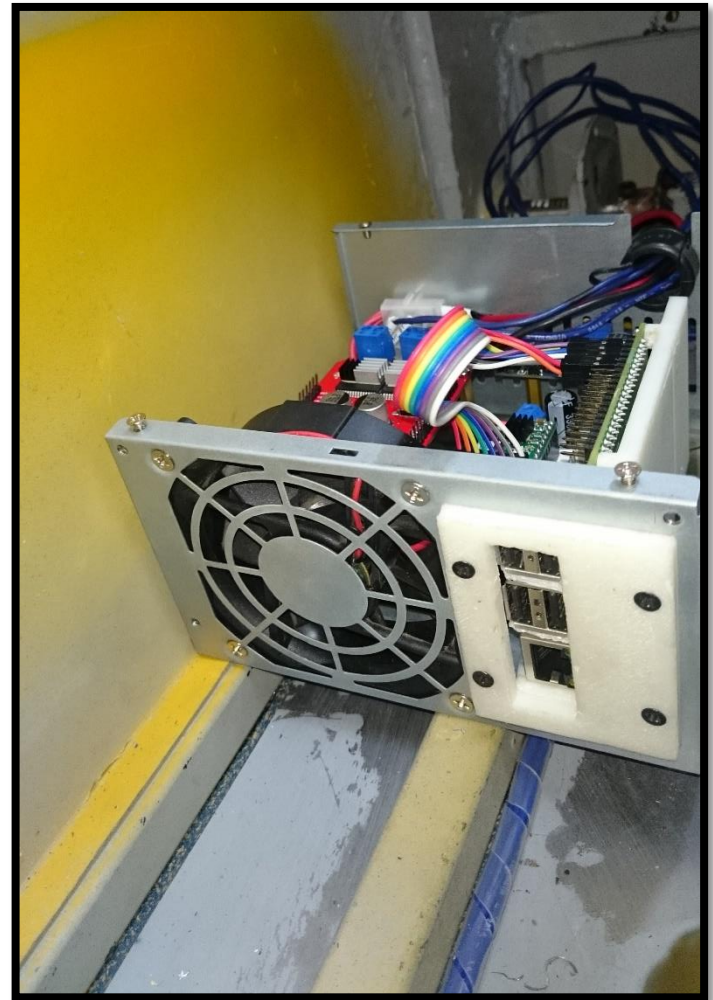
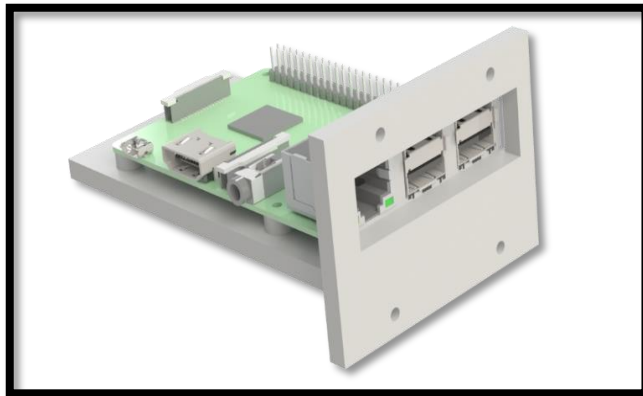
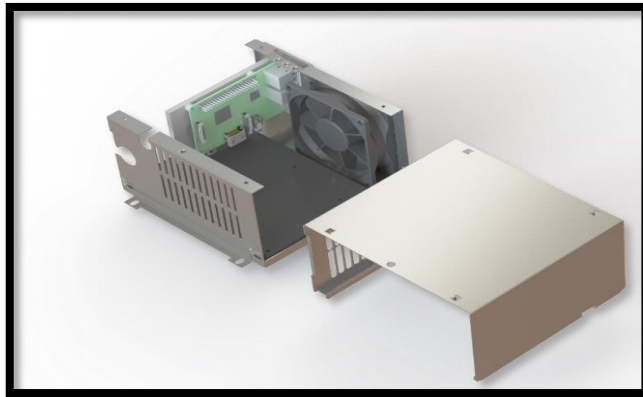
SISTEMA ELECTRÓNICO

Arquitectura general



SISTEMA ELECTRÓNICO

Caja de control



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

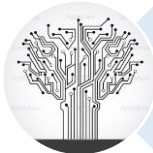
ETAPAS DE DESARROLLO



Sistema de ubicación



Sistema mecánico



Sistema electrónico



Software y Control

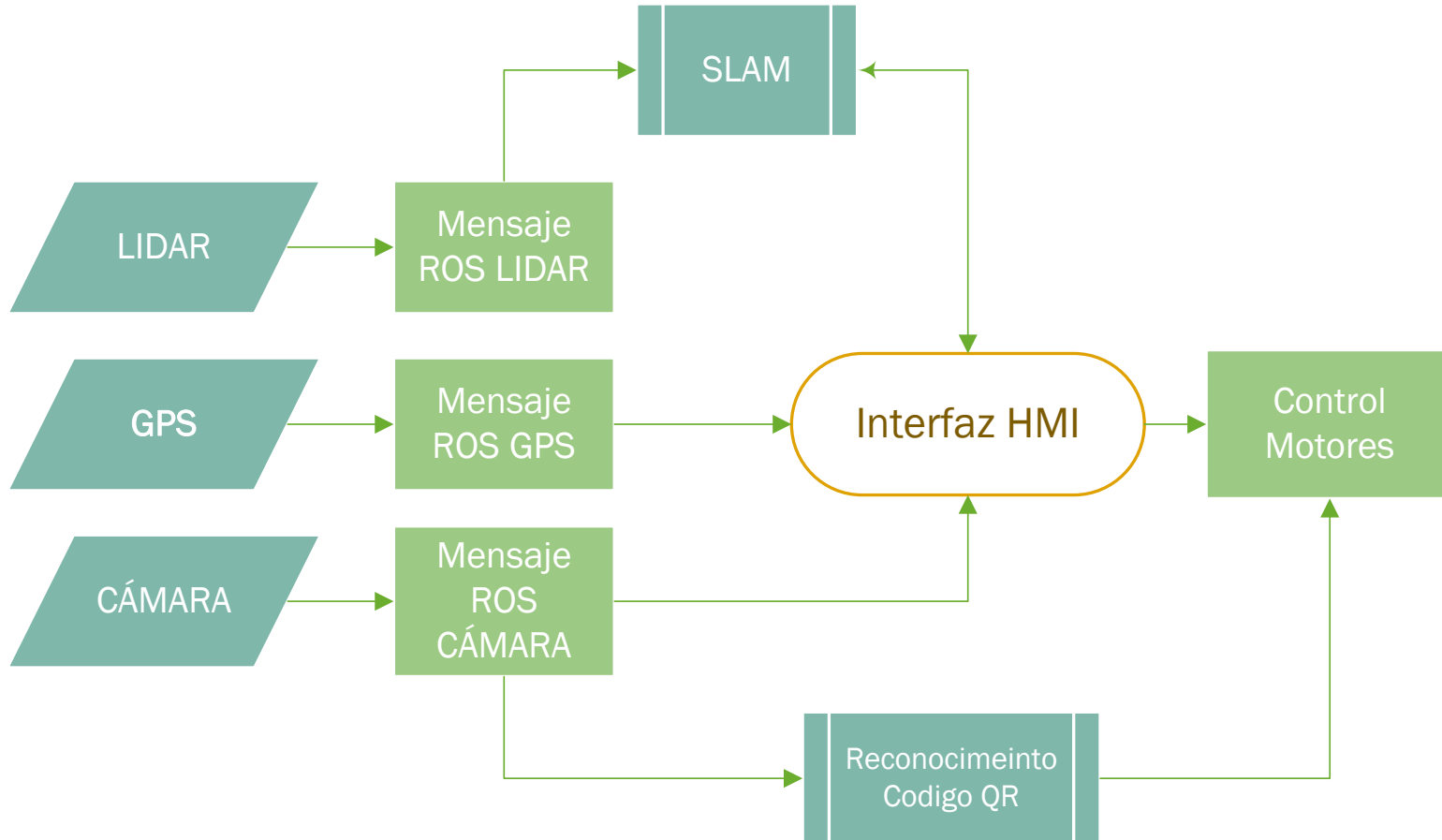


ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

SISTEMA SOFTWARE

Arquitectura de control



Estructura de Software



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

SISTEMA SOFTWARE

Programas/Nodos de ROS

Nodo	Descripción
/nodo_gorex	Controla el movimiento por medio de los motores de la plataforma.
/lidar_gorex	Es el encargado de la recepción y manejo de los datos obtenidos por el Lidar.
/camara_gorex	Capta la imagen de la cámara e bordo y la pública como mensaje de ROS.
/barcode_detector	Reconoce los códigos QR dentro de la imagen captada por la cámara.
/gps_gorex	Encargado del funcionamiento del GPS y captación de datos.
/qr_gorex	Controla los comandos dados para el QR

Tópicos	Descripción
/cmd_vel	Mensaje de velocidad lineal y angular en los 3 ejes.
/scan	Mensaje del lidar.
/cámara_gorex/image_raw	Datos de la imagen de la cámara.
/cámara_gorex/camera_info	Información básica de la configuración de la cámara.
/fix	Información obtenida por el sensor GPS
/markers	Contiene la posición, el tamaño y el significado del código QR.
/vel	Velocidad dada por el GPS.

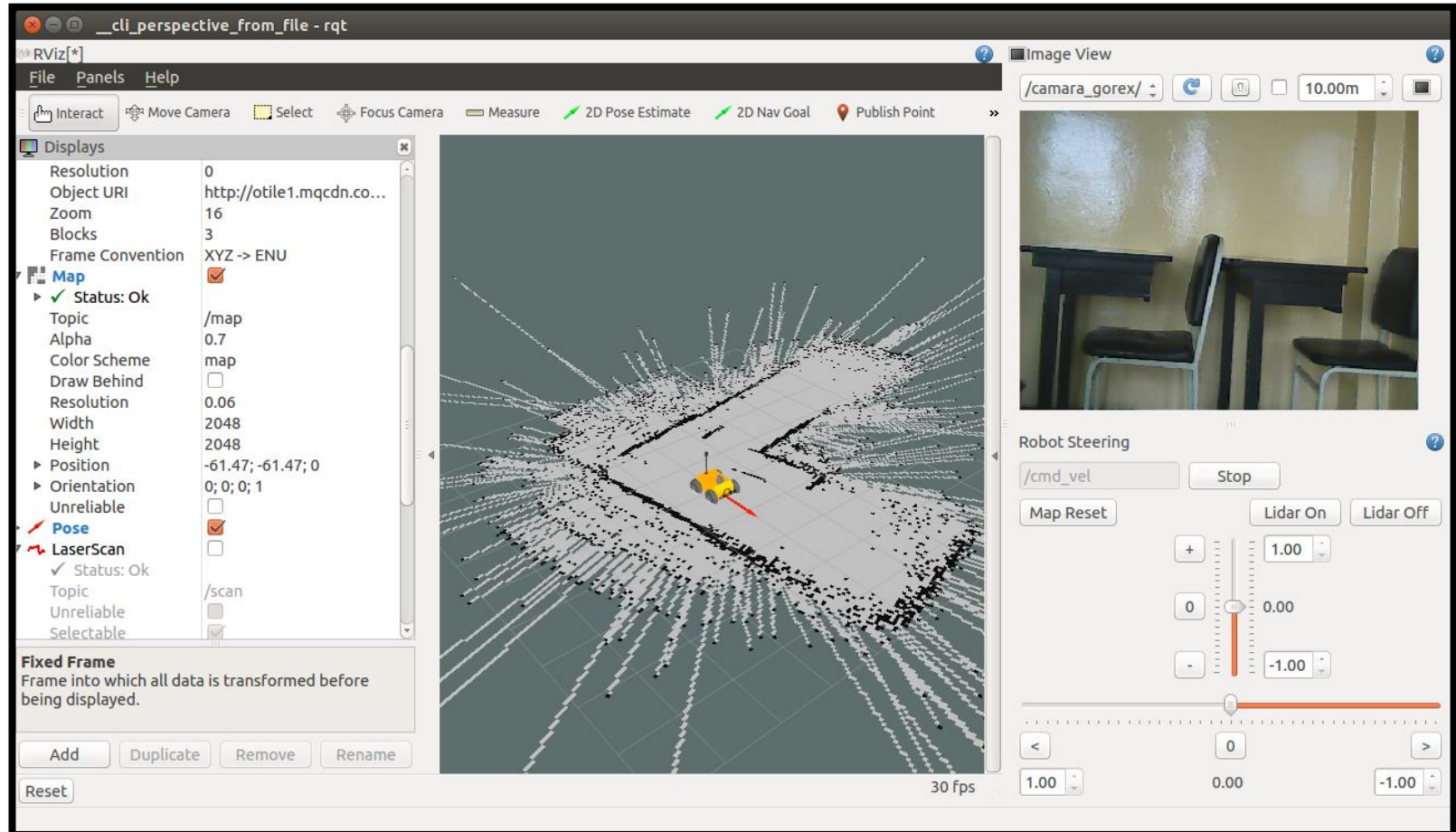


ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

SISTEMA SOFTWARE

Interfaz de usuario humano máquina



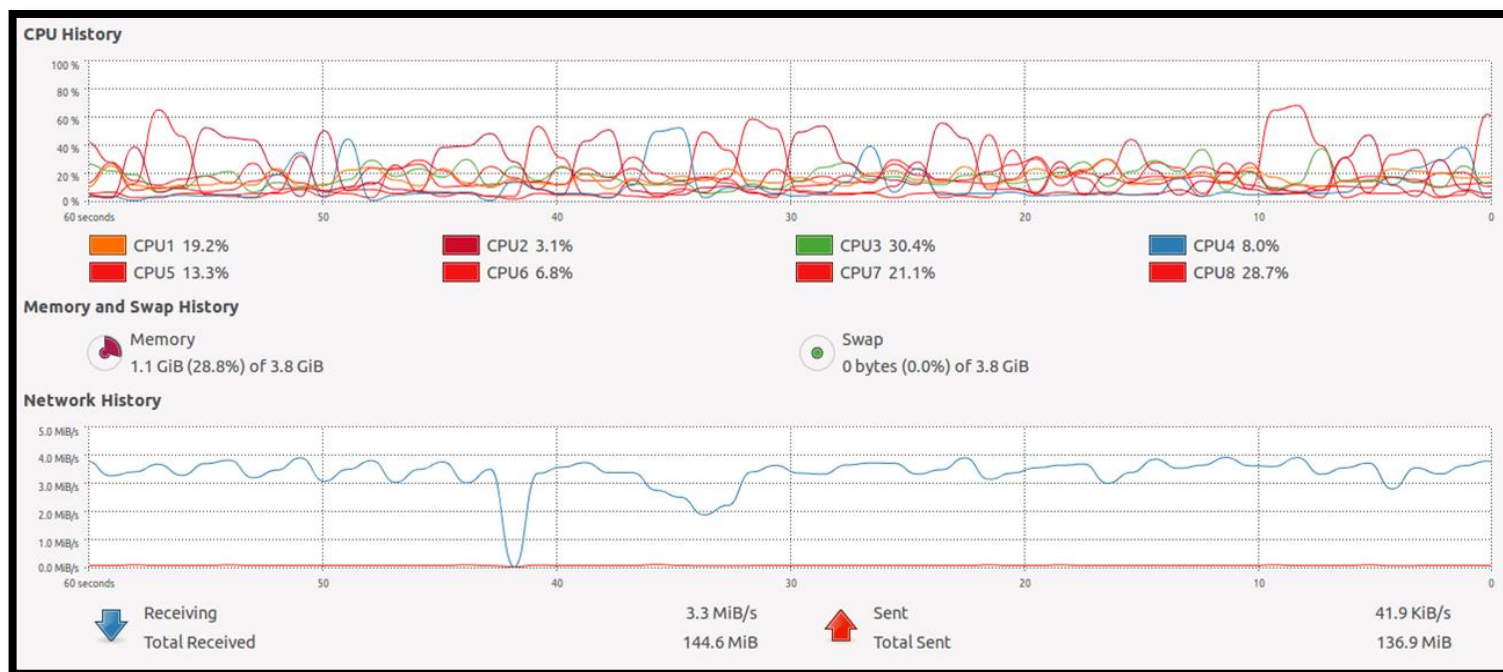
ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

PRUEBAS Y RESULTADOS

PROCESAMIENTO COMPUTACIONAL

El ancho de banda ocupado es de aproximadamente 5,6 MB/s. La capacidad de procesamiento de la placa Raspberry fue suficiente. Los nodos ocupan un procesamiento de entre 60% y 75% en el controlador del robot (Raspberry) y 15% en el PC



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

PRUEBAS Y RESULTADOS

Autonomía

Los datos recogidos sobre la autonomía del sistema reflejan un resultado de 2 horas, debido a que la plataforma es incapaz de funcionar con tensiones bajo los 10 Voltios.

Tiempo [min]	Voltaje [V] con carga
0	12.65
10	12.49
20	12.26
30	12.03
40	11.87
50	11.63
60	11.41

Tiempo [min]	Voltaje [V] sin carga
0	14.50
60	12.60
120	10.40



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

PRUEBAS Y RESULTADOS

Movilidad

La evaluación inicial detalla un recorrido de 10 metros de distancia en línea recta en diferentes terrenos, la desviación que sufre el carro desde su centro de masa y el PWM mínimo usado para que inicie el movimiento.

Recorrido 10m	PWM %	Desviación [cm]
Concreto calcáreo liso	10	92
Concreto	20	124
Adoquín	20	103
Césped	40	118

Recorrido 10m	Desviación [cm]
Concreto calcáreo liso	52
Concreto	61
Adoquín	38
Césped	79



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

PRUEBAS Y RESULTADOS

SLAM

SE comprobó el funcionamiento del sensor, la capacidad de construcción de mapas y la precisión con la que el robot se ubica dentro del mapa creado.

Lidar	Distancia mm	Diferencia	Porcentaje %
632	500	132	26,4
1093	1000	93	9,3
1623	1500	123	8,2
2131	2000	131	6,5
2634	2500	134	5,3

Lidar	Distancia mm	Diferencia	Porcentaje %
501	500	1	0,2
999	1000	-1	-0,1
1505	1500	5	0,33
2008	2000	8	0,4
2509	2500	9	0,36



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

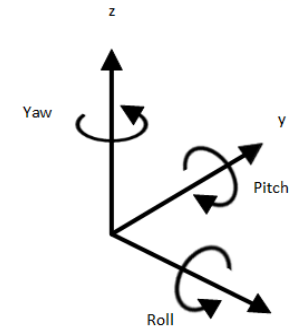
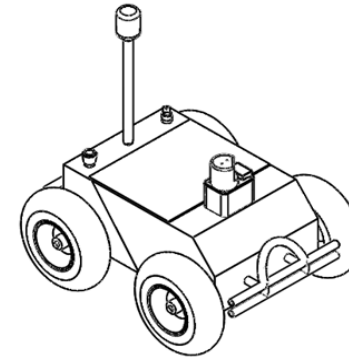
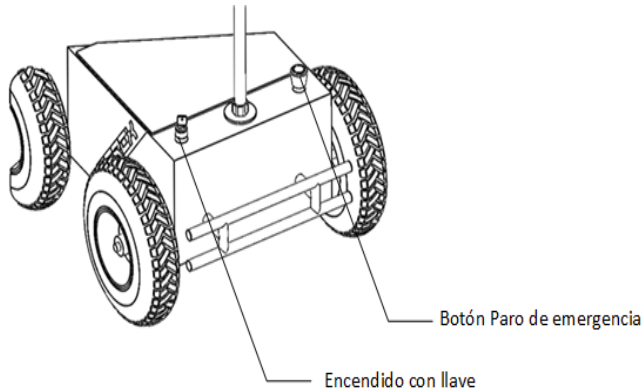
CONCLUSIONES

Tamaño y peso

Dimensiones externas (l x w x h)	810 x 660 x 410 mm
Dimensiones internas	300 x 380 x 90 mm
Peso	30 kg
Ruedas	165 mm
Altura del chasis	100 mm

Velocidad y rendimiento

Carga útil	20 kg
Velocidad máxima	0.7 m/s
Transmisión / accionamiento	4x4
Angulo máximo de ascenso	25



Batería y la potencia SISTEMA

Batería	batería de plomo-ácido
Capacidad	12 V, 24 Ah
Duración - STANDBY	8 horas
Duración – uso nominal	2 horas
Tiempo de carga	6 horas

Interfaz y comunicación

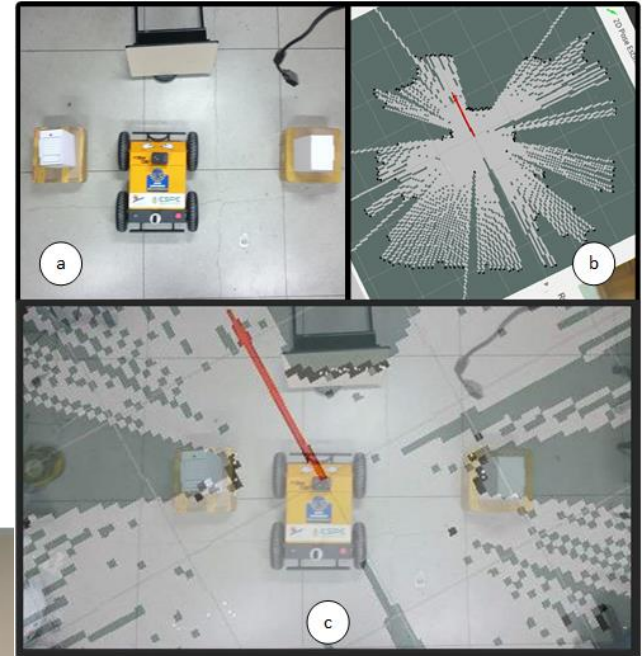
Formas de control	Centro de mando teleoperado,
Comunicación	Wi-Fi (20 dbm)
LIDAR	Lite V2 200 pulses/s
DRIVERS AND APIS	ROS, C++, and Python.



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

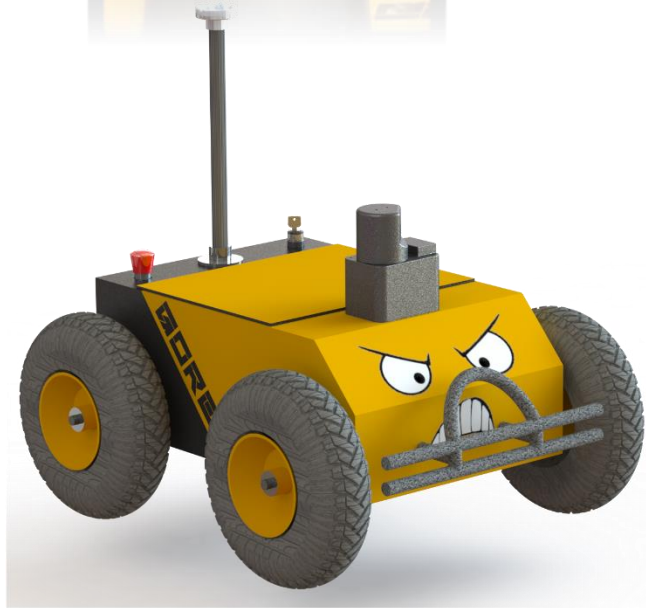
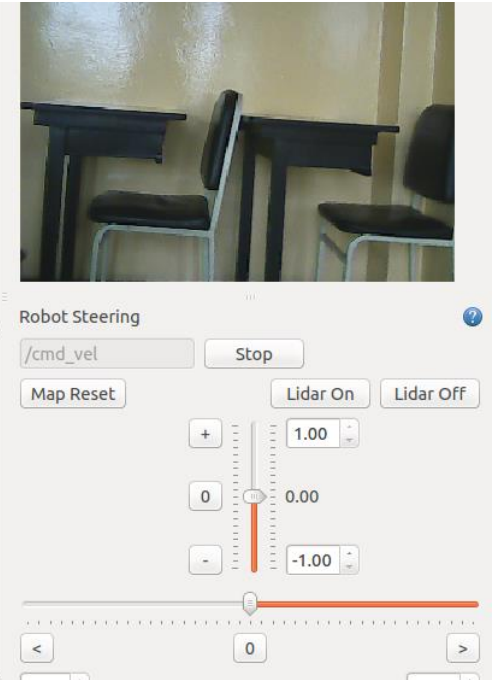
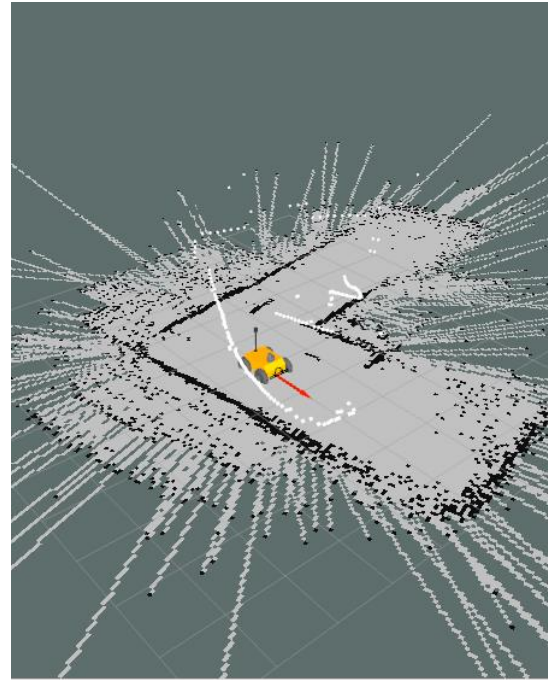
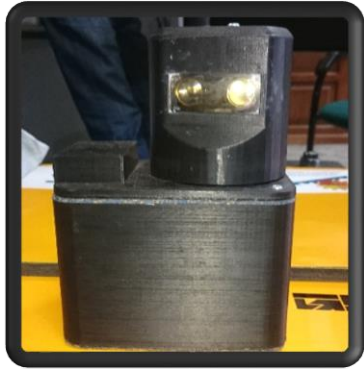
CONCLUSIONES



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

RECOMENDACIONES



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

RECOMENDACIONES



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

GRACIAS POR SU ATENCIÓN



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA