



# TEMA: INVESTIGACIÓN, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT PARA EL ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE TUBERÍAS BASADO EN VISIÓN ARTIFICIAL QUE GENERE UN REPORTE DE FALLAS Y UBICACIÓN DE LAS NOVEDADES ENCONTRADAS EN TUBERÍAS DE AGUA POTABLE

## AUTORES:

CUYO SEMBLANTES FREDDY RÓMULO  
VILLAVICENCIO CÓRDOVA JAIRO STALIN

## DIRECTOR:

ING. DARÍO MENDOZA



# CONTENIDO

Problema

Objetivos

Hipótesis

Generalidades

Diseño

Pruebas y Resultados

Conclusiones y Recomendaciones



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



Agua no contabilizada del 65%



Agua no contabilizada del 56,30%



Índice de pérdidas del 54%

## CAUSAS

1. Daños en las tuberías
  - Huecos
  - Fisuras
  - Aplastamientos
  - Grietas
2. Contrabando

**Surge la necesidad de comprobar la integridad física en tuberías de agua potable**



## Método tradicional

- Geófonos, hidrófonos, sensores



PERFORACIÓN  
EN SITIOS  
INCORRECTOS

- Largas excavaciones



PÉRDIDA DE  
RECURSOS FÍSICOS  
Y ECONÓMICOS

## Nuevo Método

- Robots exploradores



BRINDA MEJORES  
RESULTADOS



# HIPÓTESIS:

La investigación, diseño y construcción de un robot explorador para el análisis estructural de tuberías de agua potable basado en técnicas de visión artificial permitirá obtener un reporte confiable del 90% en fallas y ubicación de puntos críticos.



# OBJETIVOS

## OBJETIVO GENERAL

Investigar, diseñar y construir un robot para el análisis estructural confiable de tuberías que genere un reporte de fallas y ubicación de puntos críticos de las tuberías de agua potable usando técnicas de visión artificial.



# OBJETIVOS

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

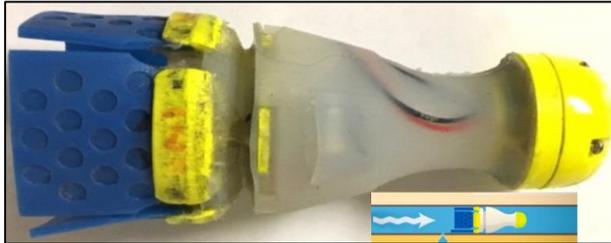
- Indagar robots exploradores
- Establecer: Mecánica, electrónica, robótica
- Aplicar: Visión artificial
- Desarrollar HMI
- Protección IP
- Alarma
- Pruebas de funcionamiento
- Costos



# GENERALIDADES



*Pipeline Explorer*

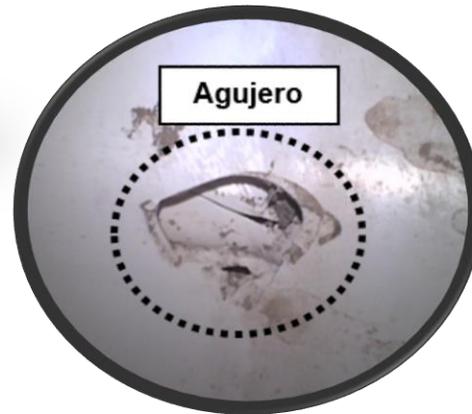
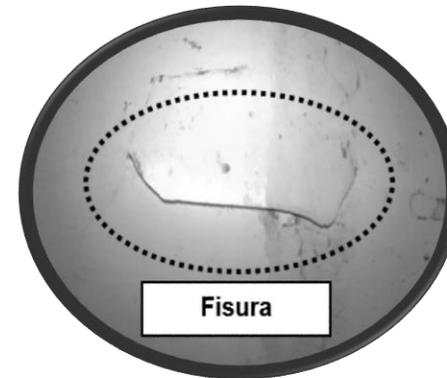
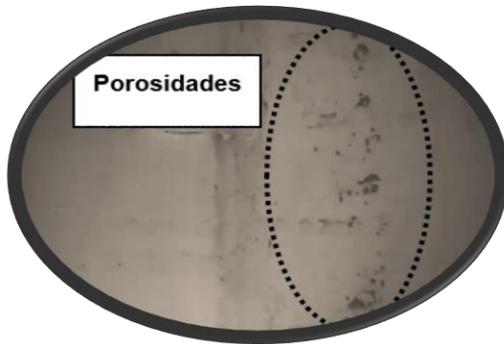


*PipeGuard*



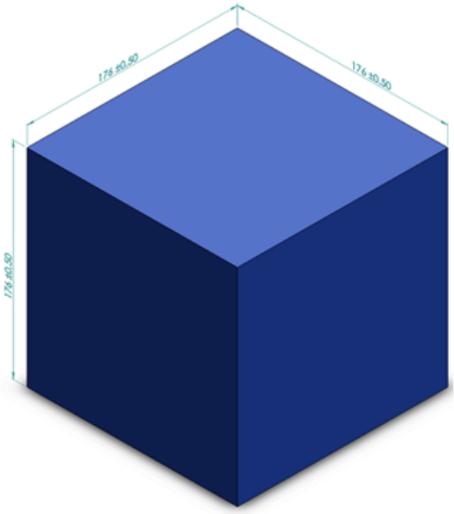
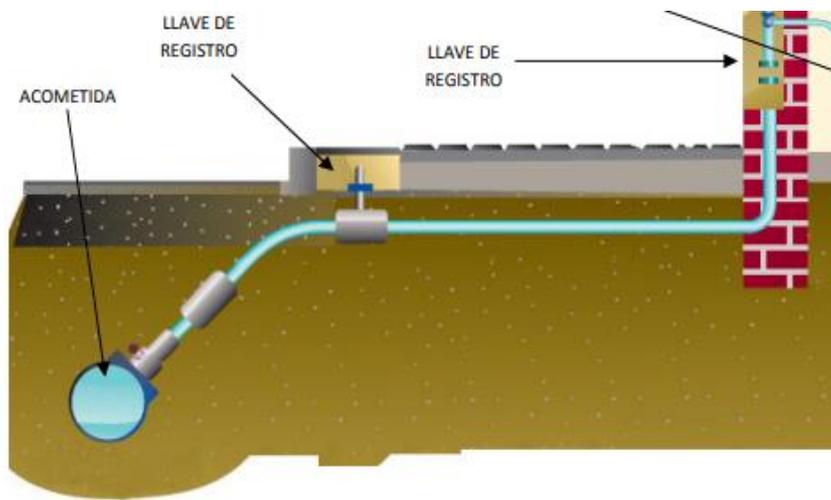
*Firma Envirosight*

# GENERALIDADES



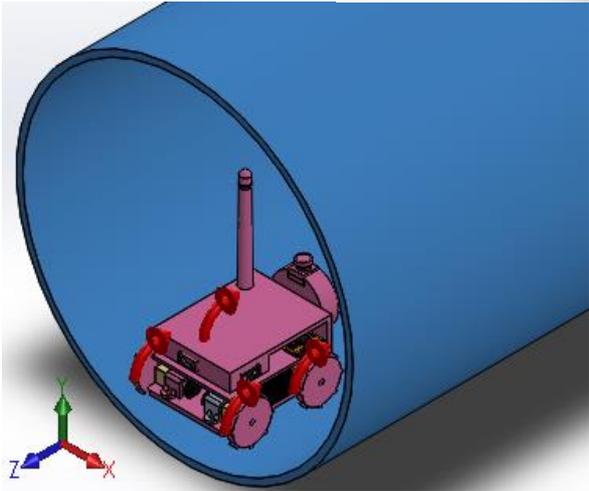
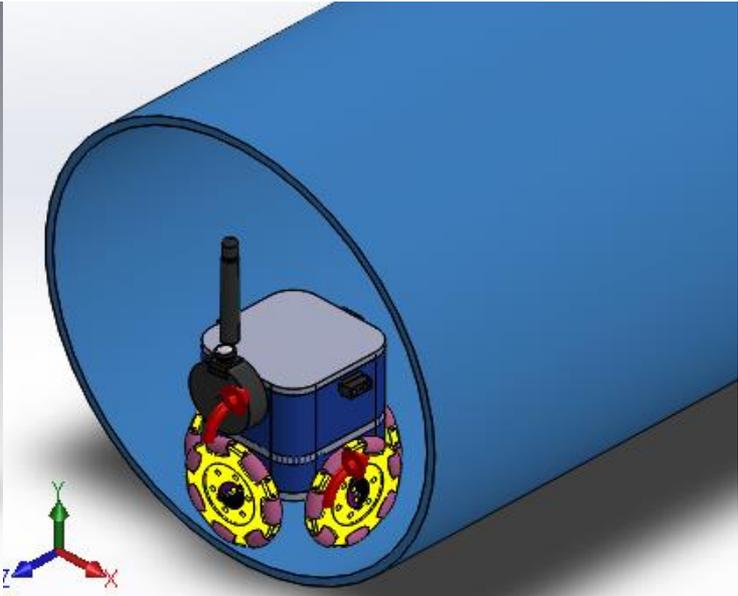
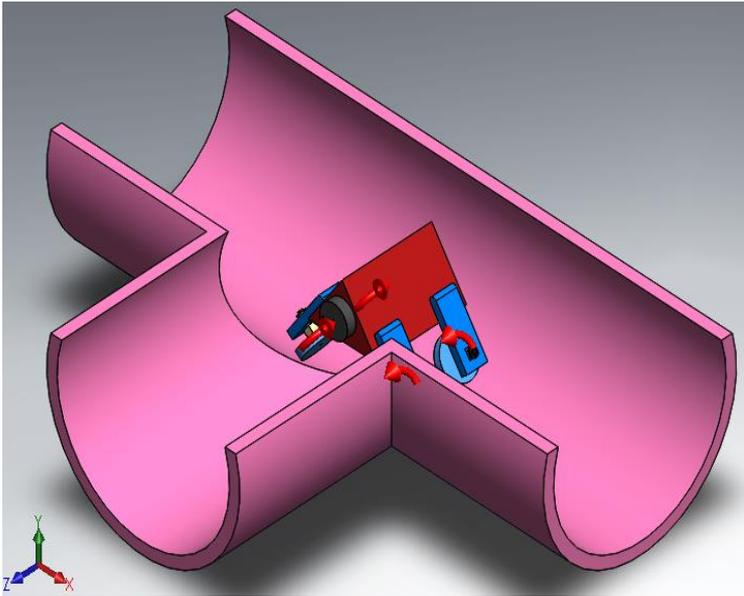
# DISEÑO

Para tuberías superiores o iguales a los 250mm



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# DISEÑO



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

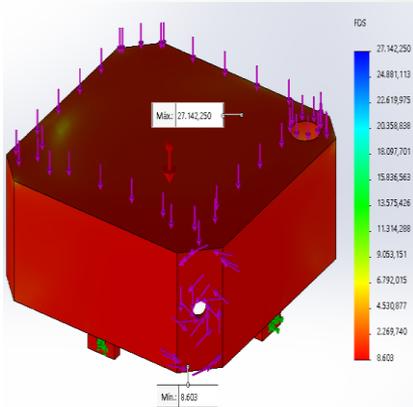
# DISEÑO

Características	Prototipo 1	Prototipo 2	Prototipo 3
			
<b>Locomoción</b>	Diferencial	Diferencial	Omnidireccional
<b>Maniobrabilidad</b>	Baja X	Media ✓	Alta ✓✓
<b>Estabilidad</b>	Baja X	Baja X	Buena ✓
<b>Superficie de contacto</b>	Baja X	Media ✓	Buena ✓
<b>Eficiencia</b>	Media ✓	Media ✓	Media ✓
<b>Giros en uniones tipo T</b>	Baja X	Baja X	Alta ✓✓
<b>Giros en codos</b>	Nula X	Baja X	Alta ✓✓
<b>Tracción</b>	Buena ✓	Buena ✓	Buena ✓
<b>Vibración</b>	Alta X	Baja ✓✓	Media ✓
<b>APROBACIÓN</b>	No	No	Si



**ESPE**  
 UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
 INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

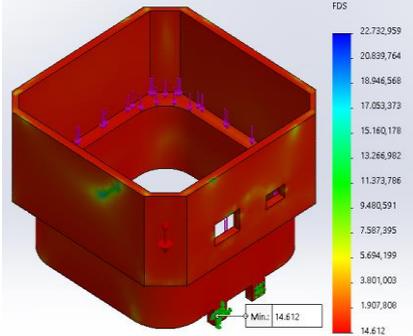
# DISEÑO



FDS: 8.603

Peso aproximado: **70.9 g**

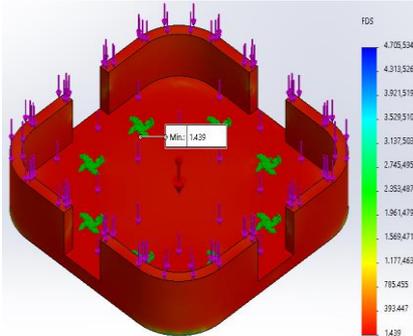
*Carga = 0.70 N*



FDS: 14.612

Peso aproximado: **324.15 g**

*Carga = 4.77 N*



FDS: 1.439

Peso aproximado: **324.15 g**

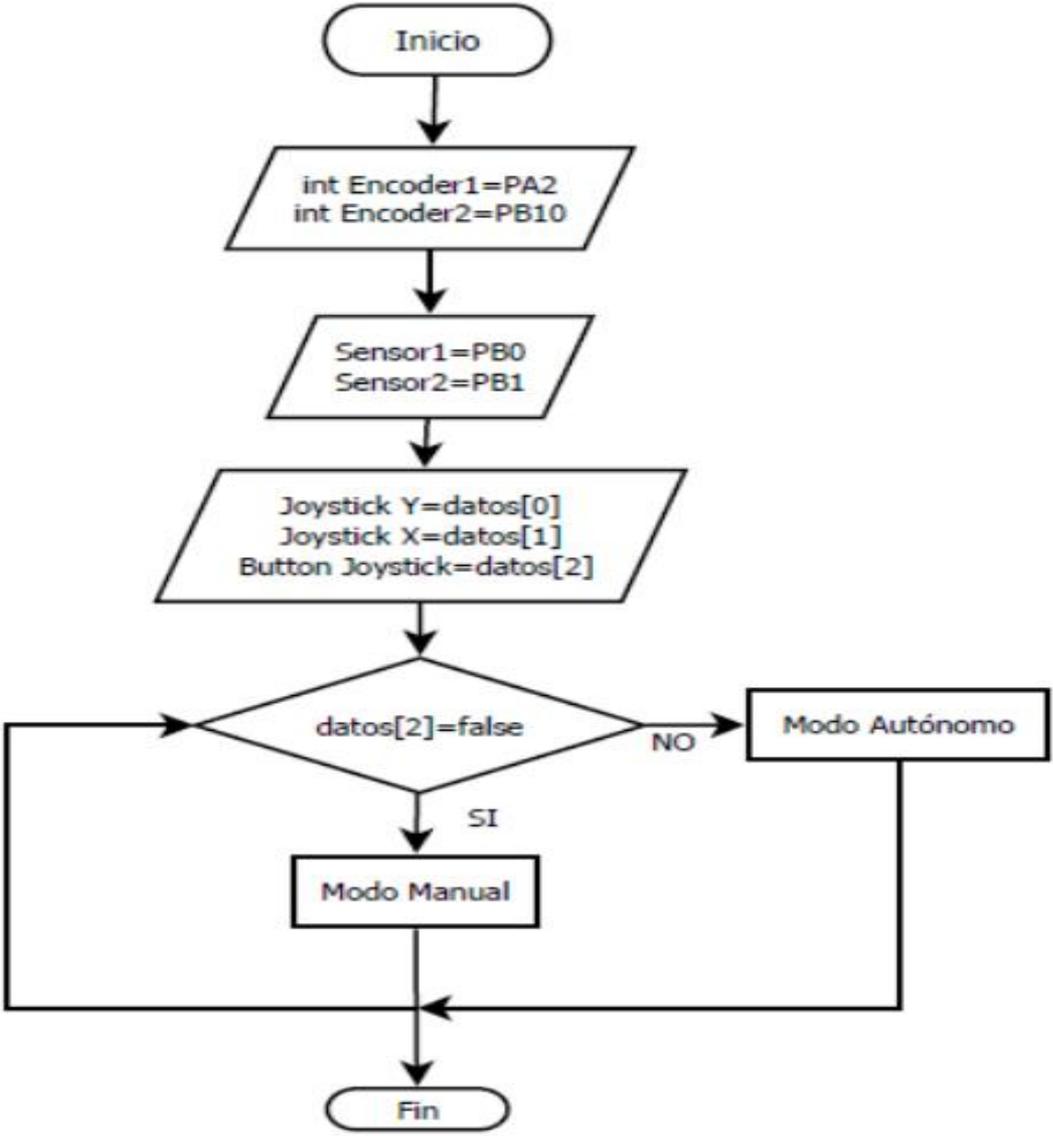
*Carga = 4.77 N*



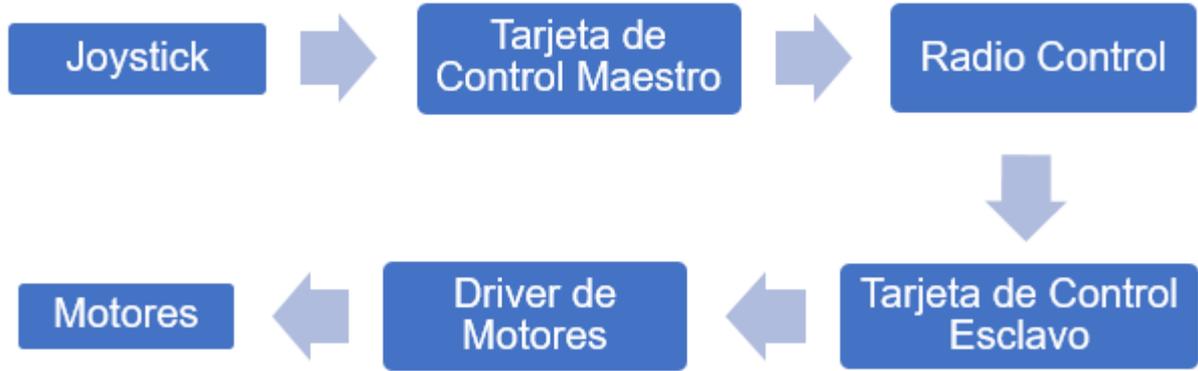
**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# DISEÑO



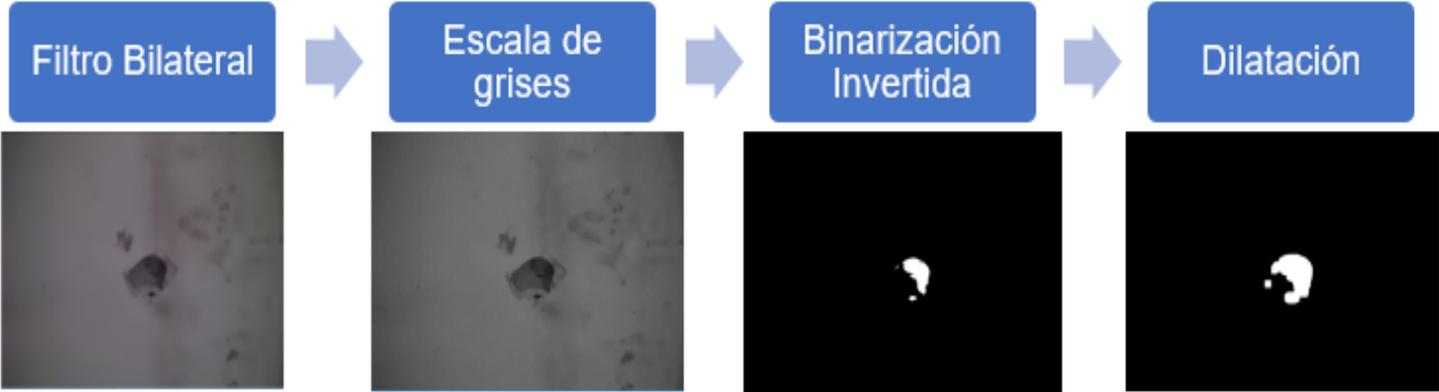


MODO MANUAL



MODO AUTÓNOMO





TESIS

## EXPLORADOR DE TUBERÍAS



**AUTORES**  
- FREDDY CUYO  
- JAIRO VILLAVICENCIO

### VENTANA DE DETECCIÓN

Imagen Original  
14-33-52 | 2019-01-29

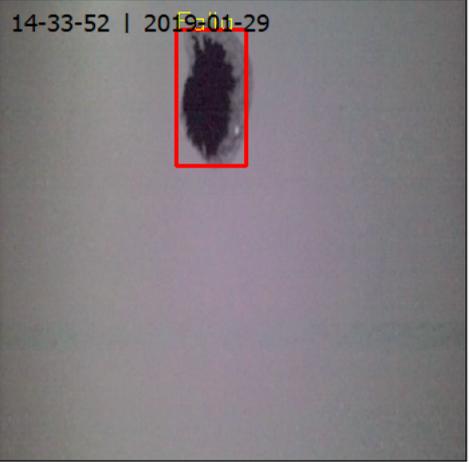
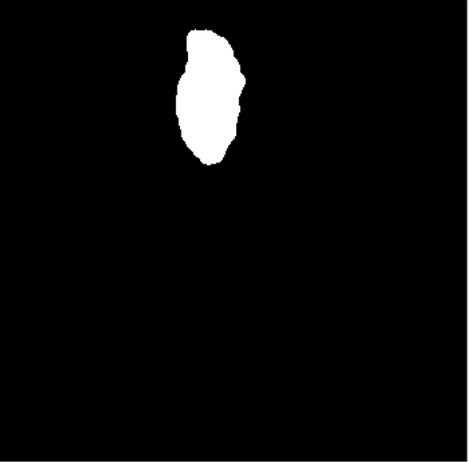


Imagen Filtrada



**Batería**  
100%

Encoder 1

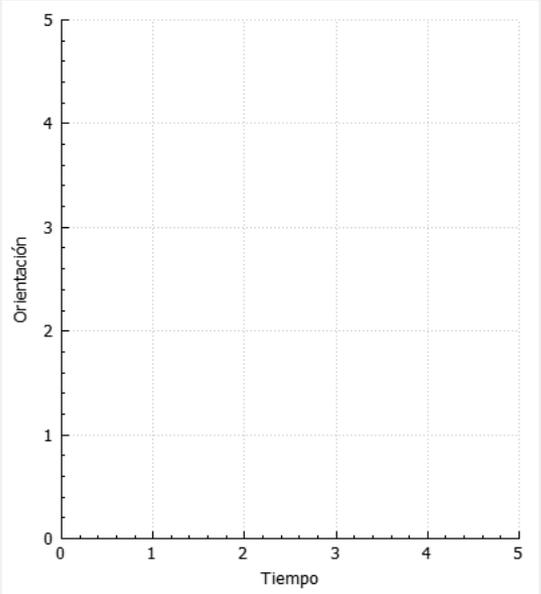
Encoder 2

Orientación

Inclinación

3 Fallas encontradas

**Distancia**



Izquierda Centro Derecha

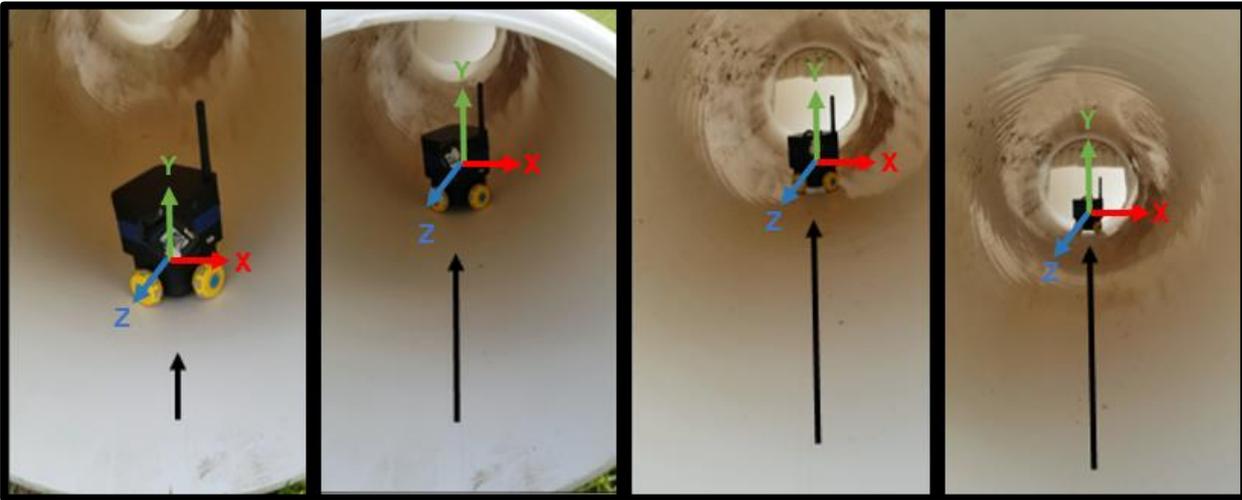


# PRUEBAS Y RESULTADOS: **ESCENARIO**



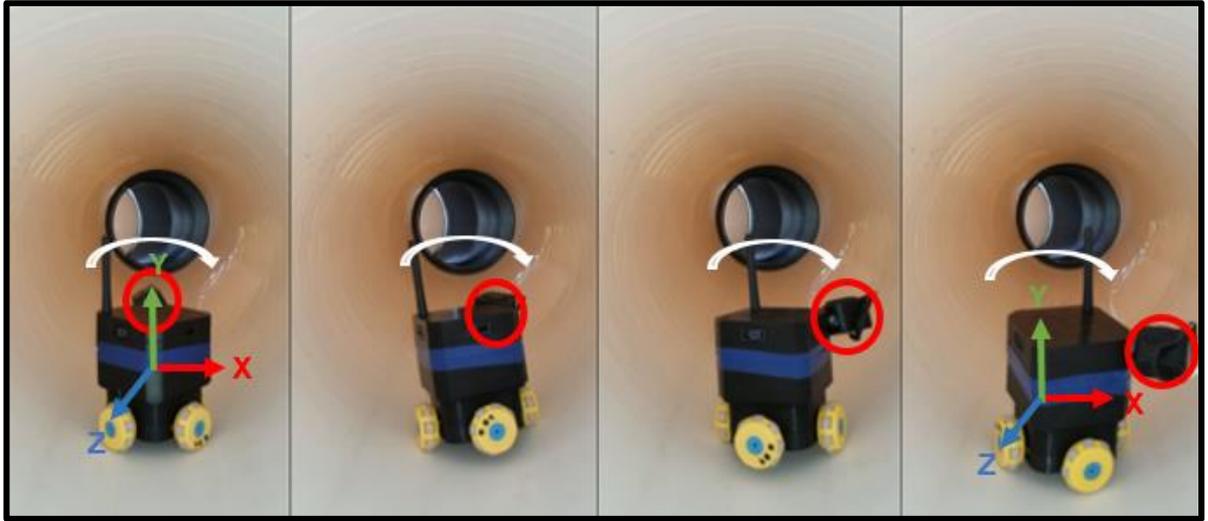
**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# PRUEBAS Y RESULTADOS: DESPLAZAMIENTO Y ESTABILIDAD



LÍNEA RECTA

GIROS



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# PRUEBAS Y RESULTADOS: **RADIOFRECUENCIA**

Distancia (m)	Línea directa	Obstáculos	Riesgo
10	Si	Si	Bajo
30	Si	Si	Bajo
50	Si	Si	Bajo
100	Si	Si	Bajo
150	Si	Si	Bajo
200	Si	Si	Bajo
250	Si	Si	Bajo
300	Si	Si	Bajo
350	Si	Si	Bajo
400	Si	Si	Bajo
450	Si	Si	Bajo
500	Si	Si	Bajo
550	Si	Regular	Medio
600	Si	Regular	Medio
650	Si	Regular	Medio
700	Regular	Regular	Medio
750	Regular	Regular	Medio
800	Regular	No	Alto
850	Regular	No	Alto



**ESPE**  
 UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
 INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# PRUEBAS Y RESULTADOS: BATERÍA



Tiempo (min.)	Voltaje (V)	Porcentaje (%)	Riesgo
0	7.4	100.0	
10	7.3	98.6	Bajo
20	7.1	95.9	Bajo
30	7.0	94.6	Bajo
40	6.9	93.2	Bajo
50	6.7	90.5	Bajo
60	6.5	87.8	Medio
70	6.3	85.1	Alto
80	6.1	82.4	Alto
90	6.0	81.1	Alto
100	5.8	78.4	Alto



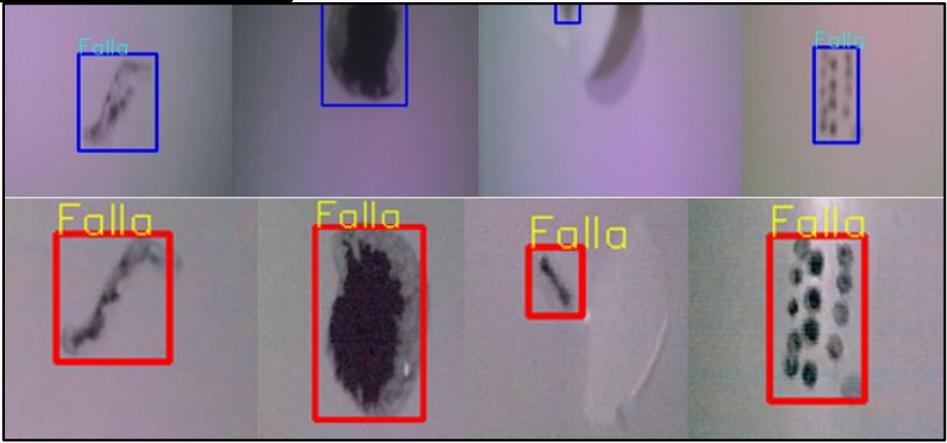
# PRUEBAS Y RESULTADOS: PROTECCIÓN IP

Norma CEI 60529



## IP 41

# PRUEBAS Y RESULTADOS: DETECCIÓN DE FALLAS

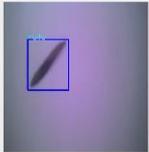


# PRUEBAS Y RESULTADOS: REPORTE DE FALLAS

Gráficas

 **REPORTE DE FALLAS** 

VISTA PREVIA DEL ANÁLISIS 21-53-33 | 2019-01-22

 54	 74	 98	 207
 282	 462	 492	 522

[Atrás](#) [Salir](#) [Exportar](#) [Mostrar](#)



# VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS

## Variable dependiente 1:

**H0:** El robot explorador genera un reporte no confiable de fallas.

**H1:** El robot explorador genera un reporte confiable de fallas.

$$X_{calc}^2 = \sum \frac{(f_{real} - f_{teórica})^2}{f_{teórica}}$$

$$X_{calc}^2 = 8.45$$

$$X_{tabla}^2 = 6.251$$

Detección	Falla 1	Falla 2	Falla 3	Falla 4	Total
Positivo	9	10	5	7	31
Negativo	1	0	5	3	9
Total	10	10	10	10	40

$X_{calc}^2 > X_{tabla}^2 \rightarrow H1$  es válida



# VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Variable dependiente 1:

**H0:** El robot explorador no ubica confiablemente los puntos de interés (fallas).

$$X_{calc}^2 = \sum \frac{(f_{real} - f_{teórica})^2}{f_{teórica}}$$

**H1:** El robot explorador ubica confiablemente los puntos de interés (fallas).

$$X_{calc}^2 = 3.81$$

$$X_{tabla}^2 = 4.605$$

Detección	Falla 1	Falla 2	Falla 3	Falla 4	Total
Positivo	9	10	5	7	31
Negativo	1	0	5	3	9
Total	10	10	10	10	40

$X_{calc}^2 < X_{tabla}^2 \rightarrow H0$  es válida



# VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Porcentaje de confiabilidad del valor  
calculado 3.81

$$y = y_0 + \left( \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} \right) (x - x_0)$$

<b>y</b>	<b>0.10</b>	<b>Valor deseado</b>	<b>0.15</b>
<b>x</b>	4.6052	3.81	3.7942

*Confiabilidad = 85.1%*

*X% = 1.99*



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# LIMITACIONES

- Tuberías verticales
- Tuberías con diámetro menores a 250 mm
- Tuberías de aguas servidas
- Tuberías llenas de agua
- Tuberías con inclinación superior a 20°



# COSTOS

Descripción	Cantidad	Costo Unitario (\$)	Costo Total (\$)
Motor Pololu	4	20	80
Servomotor	1	9	9
Cámara Wifi	1	80	80
Rueda Omnidireccional	4	20	80
STM32F103	2	15	30
Sensor Sharp	2	15	30
NRF24L01	2	14	28
MPU 6050	1	8	8
Mando Joystick	1	5	5
Tarjeta de Control	2	40	80
Diodo Led SMD	4	1	4
Baterías Lipo	2	18	36
Impresión 3D	5	30	150
Tramo PVC	1	120	120
Unión tipo T	1	50	50
Codo	1	25	25
Cables, pernos y similares	-	-	20
Mano de obra	-	-	200
<b>Total</b>			<b>\$1035</b>



# CONCLUSIONES

- La configuración holonómica con cuatro ruedas omnidireccionales establecida genera un error de 1.99% en los valores de desplazamiento, ya que el movimiento no es homogéneo y el análisis odométrico es más complejo con respecto a los sistemas tradicionales.
- El análisis estructural de tuberías se ve comprometido por el alcance de la cámara siendo de 50 metros de radio de cobertura por la red wifi que utiliza, más no por la comunicación por radiofrecuencia ya que esta funciona en perfectas condiciones hasta los 500 metros de distancia.



# CONCLUSIONES

- El método de detección por medio de visión artificial presenta ventajas frente al método tradicional. Al disponer de un dispositivo móvil que localice averías, se puede realizar mantenimiento preventivo, permitiendo rastrear fallas de instalación y garantiza su posterior funcionamiento. El método antiguo solo realiza un mantenimiento de tipo correctivo cuando aparecen fugas de agua en la superficie.
- Este proyecto es de carácter investigativo, por lo cual se puede mejorar los algoritmos de detección de fallas y los mecanismos que permiten su desplazamiento.



# RECOMENDACIONES

- Realizar el análisis en tuberías superiores a los 200mm para el análisis de fallas puesto que las dimensiones del robot no dan para diámetros menores.
- De preferencia usar un ordenador que disponga de un procesador de última generación para que el tratamiento de imágenes sea adecuado y se puede observar las fallas al compararlas con cada uno de los detectores.
- Usar al robot para tareas de exploración en intervalos que no sobrepasen una hora, esto para evitar que se agote la carga del robot, provocando pérdida de comunicación haciendo que se quede atrapado el explorador dentro de las tuberías.



*¡Gracias!*



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA