

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE DETECCIÓN DE MOVIMIENTO USANDO UN SENSOR INFRARROJO PASIVO PARA IMPLEMENTACIÓN EN ROBÓTICA

Juan Manuel Gutiérrez Bravo

Ingeniería Mecatrónica

Tutor:

Juan Sebastián Botero Valencia

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

Noviembre de 2021

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RESUMEN

Muchos sensores cuentan con un desfase en relación con lo ofrecido por los fabricantes por lo que realizar la caracterización de estos es fundamental a la hora de emplear estos artefactos donde su precisión sea mayor, por lo que para determinar el rango de operación de este se planteó diseñar un sistema de obtención de datos de forma empírica, también diseñar un método que permita amplificar este rango de forma mecánica, con movimientos a partir de un sistema de motores.

La caracterización se realizó obteniendo datos en un entorno abierto, por medio de los sensores y leyendo esta información a través de un Arduino uno y más aún se realizó el análisis de estos datos por medio del lenguaje de programación Python donde se obtuvo el rango de operación de este sensor, posteriormente se desarrolló todo el sistema mecánico y los datos adquiridos fueron transmitidos a través de un sistema inalámbrico con un módulo ESP32.

Gracias a esto se logró un sistema de seguimiento de cuerpo pequeño con mayor precisión y exactitud, por demás, siendo un sistema inalámbrico permite la interacción en mayores distancias, siendo todo esto protegido por un sistema de encapsulamiento, donde gracias a este sistema se tiene un rango de operación ampliado.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RECONOCIMIENTOS

Quiero extender un profundo agradecimiento a mi madre, quien me apoyó incondicionalmente y fue fuente de inspiración en etapas cruciales de mi carrera, a mi hermana, que siempre estuvo para brindarme palabras de aliento y fue una compañía en momentos difíciles, a mis compañeros, quienes también aportaron a mi aprendizaje, también quiero agradecer a mi asesor de tesis, el Dr. Juan Sebastián Botero Valencia por ser un guía en este proceso y por toda la paciencia que tuvo a la hora de extender sus conocimientos hacia mí.

El autor desea expresar su agradecimiento por permitir el desarrollo de este trabajo de grado en el marco del proyecto de investigación titulado “Desarrollo de componentes y estructuras bio-inspiradas a través de tecnologías de manufactura aditiva para el sector constructor nacional”.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ACRÓNIMOS

PIR Infrarrojo pasivo (del inglés “Passive Infrared”)

FOV campo de visión (del inglés “field of view”)

WSN (del inglés “Wireless Sensor Network”)

SoC Sistema en un chip (del inglés “System on Chip”)

BEL Unidad de sonoridad o percepción sonora que equivale a una intensidad diez veces mayor a la intensidad mínima que puede ser apreciada por el oído

SPP Perfil de puerto serie (del inglés “Serial Port Profile”)

WIFI Fidelidad sin cables o inalámbrica (del inglés “Wireless Fidelity”)

GPIO Entrada/Salida de propósito general (del inglés “General Purpose Input/Output”)

UART Transmisor-receptor asincrónico universal (del inglés “Universal Asynchronous Receiver-Transmitter”)

IoT internet de las cosas (del inglés “Internet of things”)

I2C circuito inter-integrado (del inglés “Inter-Integrated Circuit”)

SPI Interfaz periférica serial (del inglés “Serial Peripheral Interface”)

MMC medios de comunicación masiva (del inglés “mass media”)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

CAN controlador de red de zona (del inglés “Controller Area Network”)

ADC Conversor Analógico Digital (del inglés “Analog to Digital Converter”).

DAC Conversor Digital Análogo (del inglés “Digital to Analog converter”).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

TABLA DE CONTENIDO

1.1 Generalidades	8
1.1.1 Justificación	8
1.1.2 Planteamiento del problema	9
1.2 Estado del arte	9
OBJETIVOS	12
Objetivo general	12
Específicos	12
1.4 Organización del trabajo de grado	12
2.1 Información del fenómeno físico	13
Espectro electromagnético	13
Radiación infrarroja	14
2.2 Principio de funcionamiento del sensor	15
Sensor piroeléctrico:	15
Lente de Fresnel:	16
¿Cómo funciona un sensor de movimiento PIR?	16
2.3 Descripción del ESP32	17
Características:	19
Especificaciones técnicas:	20
2.4 Descripción del sensor HC-SR501	21
Especificaciones técnicas:	21
2.5 Descripción del sensor HC-SR505	22
Especificaciones técnicas:	22
2.6 Descripción del Arduino Uno	23

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Especificaciones técnicas:	23
2.7 Descripción del Nema 17	24
Especificaciones técnicas:	24
2.8 Descripción del SG90	25
Especificaciones técnicas:	25
3.1. Diseño mecánico	29
3.2. Diseño electrónico	30
4.1 Ensamble final	33
4.2 Pruebas de validación	34
Conclusiones	44
Recomendaciones	45
Trabajo futuro	45
Referencias	46

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades

1.1.1 Justificación

Las áreas de aplicación de los robots móviles van desde el uso militar (sea en el fondo del mar, al descargar o retirar un artefacto explosivo, o bien en el aire, por medio de drones) hasta la protección civil contra desastres naturales, ya que los robots semiautónomos realizan tareas en las que los humanos pueden ver su integridad comprometida. Otras áreas de aplicación de los robots móviles son: la agricultura y el transporte público por carretera, incluidos los vehículos autónomos (sin conductor) entre otras (Revista de Robots, 2020). Debido a estas aplicaciones de alta complejidad, es importante ofrecer una adecuada caracterización de los sensores, más concretamente a los sensores PIR, pues estos permiten realizar las actividades deseadas con más precisión si los datos obtenidos a través de estos poseen un rango de operación óptimo.

1.1.2 Planteamiento del problema

Este proyecto propone la caracterización, junto al desarrollo de un sistema de detección de movimiento de los sensores PIR (Passive Infrared). Dado que el sensor es de carácter digital, esta caracterización busca obtener los rangos de operación, elementos censados y entorno de operación de este. Generalmente el sensor da como respuesta una variable eléctrica con respecto a una variable de entrada, normalmente de naturaleza física, o viceversa; es decir, calcula la tasa de cambio de una variable de entrada cuando tiene una

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

cierta señal de salida. Las características del sensor son esenciales para la interpolación de los valores. Una buena caracterización produce mediciones con un buen nivel de precisión a la hora de determinar el movimiento de personas para una posterior aplicación a la robótica móvil. El sensor PIR detector de movimiento por infrarrojos es ideal para el uso en robótica gracias a su pequeño tamaño y bajo consumo, por lo que puede ser utilizado en todo tipo de robótica móvil y sensores. El robot móvil proporciona datos sensoriales al sistema a través de una ruta preprogramada.

1.2 Estado del arte

Varias publicaciones han demostrado la aplicación de redes de sensores infrarrojos para la detección de objetivos y la detección de intrusos, pero los métodos actuales de localización de objetivos implican principalmente codificación de partición y área, y su precisión de localización depende en gran medida de la densidad de distribución del sensor. El seguimiento del cuerpo se puede utilizar ampliamente en campos como la vigilancia, la robótica, el hogar inteligente y la biometría de la marcha, por lo que presentamos un nuevo sistema de seguimiento del cuerpo a pequeña escala y bajo costo basado en una red de sensores infrarrojos piroeléctricos, que es muy deseable. La precisión del posicionamiento, que se ve afectada por la información limitada de los sensores infrarrojos, puede mejorarse mediante algoritmos de seguimiento adecuados. Dada la memoria limitada y el poder de cómputo, así como el ruido grande e irregular generado por la ubicación del sensor infrarrojo (Yang, Luo, & Liu, 2014) Con el progreso de la tecnología de sensores, la comunicación inalámbrica y la tecnología de procesamiento de información distribuida, cada vez más investigadores han prestado más atención a las redes de sensores infrarrojos piroeléctricos para el seguimiento humano. En comparación con los métodos de reconocimiento de video, los sensores infrarrojos piroeléctricos tienen

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

las características de bajo costo, bajo consumo de energía y reconocimiento preciso de objetivos humanos. Un punto clave del seguimiento humano es localizar objetivos humanos en movimiento con mayor precisión en función de información limitada utilizando redes de sensores PIR. Cuatro nodos de sensores estaban dispuestos uniformemente. Luo X et al colocó 5 nodos sensores en el techo de una habitación de 8 m x 8 m. Los FOV cruzados de diferentes sensores formaron diferentes regiones de medición. El objetivo humano podría ubicarse de acuerdo con la región cruzada de diferentes sensores y consideraron el sensor de aceleración para mejorar la precisión de la ubicación. Estas redes de sensores PIR podrían rastrear correctamente objetivos humanos en un entorno de laboratorio, pero toda la codificación del espacio debe calibrarse nuevamente cuando se agrega un nuevo nodo o cuando se cambia la posición del nodo (Yuan, Yang, & Wei, 2019). Al detectar objetivos humanos, el sensor correspondiente emite «1», de lo contrario, emite «0». diferentes objetivos se utilizan para rastrear objetivos multihumanos. QiHao et al, desplegó 4 nodos sensores en el espacio de 9 m x 9 m y los colocó del lado de los objetivos humanos. Se propuso un esquema de seguimiento de expectativa-maximización-bayesiano para rastrear los objetivos humanos en función de la partición de la región codificación. Consideraron el conocimiento previo de las geometrías del objetivo y del muestreo, y lograron un buen rendimiento para el seguimiento de dos objetivos humanos (Yang, Wei, & Zhang, 2017). Los sensores se han convertido en dispositivos indispensables en la vida cotidiana. Teniendo en cuenta la aplicación de sensores en casi todos los campos, la demanda de sensores está aumentando rápidamente. Debido a la creciente demanda, se ha logrado un progreso significativo en el campo de los sensores, haciéndolo más confiable y rentable. Varios sensores como temperatura, presión, tensión, ultrasónico, microondas e infrarrojo pasivo (PIR) se utilizan para medir diferentes parámetros físicos. Entre ellos, los sensores ultrasónicos, de

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

microondas y PIR se utilizan a menudo para la detección de movimiento. Los sensores PIR superan a los otros dos porque solo captan señales generadas por individuos, optimizando el consumo de energía. Los sensores PIR son dispositivos pasivos que se utilizan para detectar el calor emitido por objetos en movimiento dentro de su rango de detección. Estos sensores tienen una respuesta rápida, bajo costo, bajo consumo de energía, rendimiento confiable y alta precisión. Estas ventajas de los sensores PIR sobre otros sensores de movimiento los hacen populares en muchas aplicaciones. Se utilizan para la detección de intrusos, el control automático de instrumentos, la inteligencia artificial y la gestión de energía basada en Internet de las cosas (IoT) en edificios inteligentes. Debido al consumo excesivo de energía, los sistemas de gestión de energía basados en IoT en edificios inteligentes han recibido mucha atención en los últimos años. Pueden detectar su ocupación y comportamiento y reaccionar en función de la situación utilizando varios sensores y conexiones IoT a través de la computación en la nube (Verma, Kaler, & Singh, 2021).

OBJETIVOS

Objetivo general

Proponer un modelo empírico del funcionamiento y desarrollar un sistema de detección de movimiento usando un Sensor Infrarrojo Pasivo (PIR) para implementación en robótica

Específicos

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Proponer un modelo empírico de caracterización de los sensores PIR de referencias HC-SR501 y HC-SR505 que permitan estimar su alcance y rango de acción.
- Diseñar el acondicionamiento del sensor y el procesamiento de las señales por medio de un microcontrolador inalámbrico (vía wifi) aunque su funcionamiento no será limitado por tener un controlador en específico.
- Diseñar y fabricar una estructura física para el encapsulamiento y soporte del sensor usando manufactura aditiva.
- Validar las mediciones obtenidas a partir de la caracterización con las ofrecidas por el datasheet proporcionado por el fabricante del sensor y así poder garantizar las condiciones de exactitud y precisión en relación con su aplicación en la robótica móvil.

1.4 Organización del trabajo de grado

Inicialmente se presenta un marco teórico donde se establece una investigación para determinar el principio de funcionamiento del sensor, las características de la tecnología aplicada a este, la información de la medida y también la descripción de sus características físicas. Posteriormente, se muestra una metodología que da a entender el planteamiento del experimento propuesto, con el fin de determinar las respuestas del sensor en un ambiente controlado, considerando variables como temperatura, humedad, precipitaciones y más aún considerar los elementos a detectar. Finalmente, se muestran los resultados del proceso experimental lo que permite determinar rangos de operación óptimos, a partir de la media y el promedio de los valores ofrecidos por el sensor para una mejor relación entre el ángulo de operación y la distancia de este, a partir de esto se llegan a unas conclusiones y unas recomendaciones.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2. MARCO TEÓRICO

Los sensores PIR son elementos de detección de movimiento de objetos que emiten radiación infrarroja. Este tipo de sensores posee ciertas condiciones físicas, que permiten que estos sean utilizados en diversos campos, como los sistemas de seguridad, iluminación automática, control de acceso, termostatos inteligentes, y también para la detección de personas en el campo de la robótica.

2.1 Información del fenómeno físico

Un sensor es un dispositivo que detecta cambios en el entorno y responde a la salida de algún otro sistema. Un sensor convierte un fenómeno físico en un voltaje analógico medible (a veces una señal digital) que se convierte en una pantalla legible por humanos o se transmite para su posterior lectura o procesamiento, en este caso el fenómeno físico que actúa en el sensor es el infrarrojo.

Espectro electromagnético

El espectro electromagnético es la distribución de energía de la radiación electromagnética. Puede expresarse en términos de energía, aunque se usa más comúnmente en términos de longitud de onda y frecuencia de radiación. Va desde la

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

radiación de longitud de onda más corta (rayos gamma) hasta la radiación de longitud de onda más larga (ondas de radio) (Concepto, 2021).

Cuando hablamos del espectro electromagnético de un objeto, nos referimos a las diferentes longitudes de onda que emite (llamado espectro de emisión) o absorbe (llamado espectro de absorción), dando como resultado la distribución de energía en forma de un conjunto de ondas electromagnéticas (Concepto, 2021).

Radiación infrarroja

Se divide en tres regiones: infrarrojo lejano, infrarrojo medio e infrarrojo cercano. Los cuerpos calientes producen radiación infrarroja, que tiene muchas aplicaciones en la industria, la medicina, la astronomía y más (García, s.f.).

- **infrarrojo cercano:** con una longitud de onda menor a $2,5 \times 10^{-6}$ m y una frecuencia mayor a 120×10^{12} (Concepto, 2021).
- **infrarrojo medio:** con una longitud de onda de 50×10^{-6} m y una frecuencia mayor a 6×10^{12} (Concepto, 2021).
- **infrarrojo lejano o submilimétrico:** Con una longitud de onda menor 350×10^{-6} m y una frecuencia mayor a 300×10^9 (Concepto, 2021).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

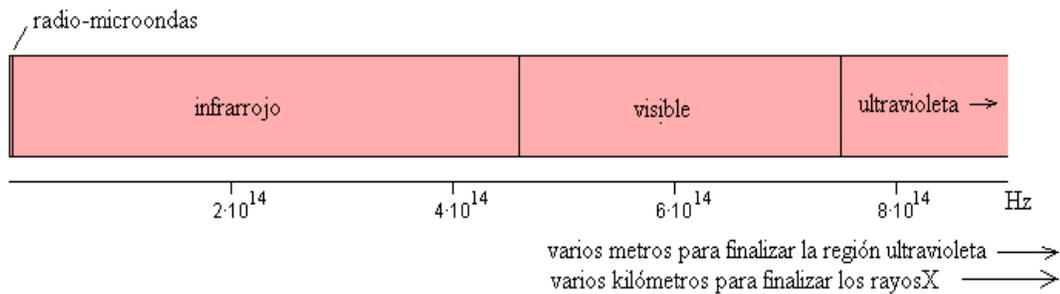


Figura 1. Espectro electromagnético en escala lineal

2.2 Principio de funcionamiento del sensor

Un PIR, o sensor piroeléctrico, funciona comparando la temperatura emitida por un objeto con la temperatura ambiente para que pueda determinar con precisión la presencia de una ubicación específica.

Los dos componentes principales de este sensor son:

Sensor piroeléctrico:

Estos son los sensores encargados de medir los cambios en la radiación infrarroja recibida. Tienen un transistor en el circuito que amplifica y amplifica la señal eléctrica que se produce cuando se detecta un cambio en la radiación.

Lente de Fresnel:

Esta lente óptica especial es delgada y liviana y consta de anillos concéntricos montados sobre una superficie plana. La radiación infrarroja emitida por el campo de recubrimiento

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

pasa a través de una lente de Fresnel para analizar sus diversas propiedades (longitud de onda, duración, amplitud, frecuencia...) antes de llegar al sensor térmico. La lente se encarga de amplificar esta señal para que luego pueda transmitirse correctamente.

¿Cómo funciona un sensor de movimiento PIR?

Cuando está activado, este tipo de sensor calibra o escanea el entorno y detecta los distintos niveles de radiación de los objetos presentes. De esta forma, puede detectar cambios significativos en la radiación infrarroja, como la emitida por humanos o animales. El sensor de movimiento pulsa regularmente (parámetro ajustable) para verificar cambios en las condiciones. Si detecta un cambio significativo en la variación de la radiación durante el proceso, activa una alerta de que ha detectado una persona o un animal (Microsegur, s.f.).

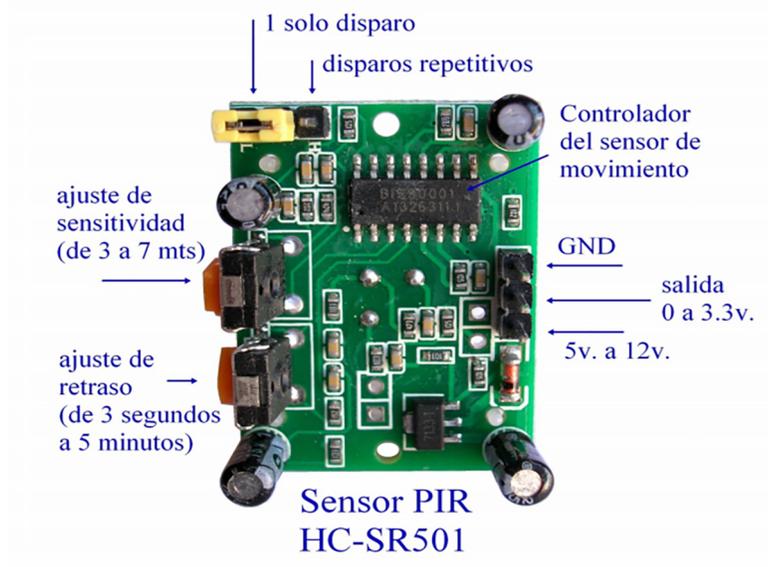


Figura 2. Esquema identificador del sensor HC-SR501

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Nota. Esta figura se pueden apreciar todos los componentes y los datos a los que se hacen modificación al alterar su estructura, tal como el ajuste de sensibilidad, el ajuste de retraso (este determina el tiempo de reacción del sensor) y los puntos de conexión del sensor

2.3 Descripción del ESP32

El ESP32 es un sistema en un chip que integra un procesador Tensilica LX6 de 32 bits. Los núcleos duales funcionan a 160 MHz en modo normal (y pueden llegar hasta los 240 MHz), que es el doble de rápido que el ESP8266. Este nuevo SoC ofrece no solo una pila de comunicación Wi-Fi integrada (Stack) y mejoras de seguridad (cifrado de contraseña), sino también una gama abierta de opciones de pila (Stack) de Bluetooth Low Energy (BLE, 4.1), ya que permite el uso de diferentes perfiles. (perfiles) a implementar en el mismo, además de la típica comunicación serie Bluetooth (perfiles SPP), que permiten el uso de perfiles de transmisión de audio, pasarelas WiFi Bluetooth o dispositivos HID (interfaz hombre-máquina), ya sean periféricos existentes como un ratón, teclado o gamepad, o cualquier tipo de dispositivo de control que se te ocurra, etc. Como decíamos, además de las mejoras en la funcionalidad y características de Bluetooth, el ESP32 tiene más pines GPIO que el ESP8266, así como más interfaces de comunicación y periféricos (I2C, SPI, UART, ADC, DAC, CAN, MMC, Ethernet...), por ejemplo, es nueva la interfaz CAN, un bus de comunicación para redes distribuidas desarrollado por Bosch y muy común en la actualidad.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

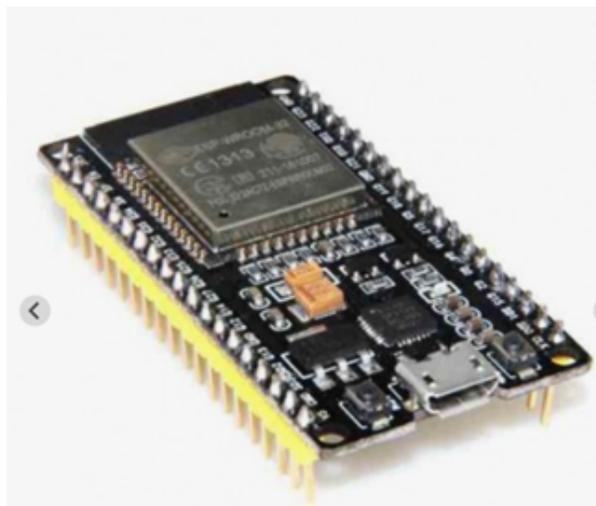


Figura 3. Microcontrolador ESP32

Características:

- ESP32: doble núcleo y Bluetooth
- El ESP32, hermano mayor del módulo ESP8266 pionero del Internet de las cosas, está listo para ser empaquetado y enviado a todos los aficionados de la electrónica. Con WiFi, Bluetooth y prestaciones de un microcontrolador avanzado, pretende ser

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

el chip más usado en el desarrollo de proyectos IoT. Expressif ha desarrollado este dispositivo durante todo el 2016.

- Conectividad
- El módulo ESP32 dispone de todas las variantes del WiFi:
- 802.11 b/g/n/e/i/n
- Wi-Fi Direct (P2P), P2P Discovery, P2P Group Owner mode and P2P Power Management
- Esta versión nueva incluye la conectividad mediante Bluetooth de bajo consumo
- Bluetooth v4.2 BR/EDR and BLE
- BLE Beacon
- Además, puede comunicarse mediante los protocolos SPI, I2C, UART, MAC Ethernet, Host SD

Especificaciones técnicas:

- Prestaciones del microcontrolador
- La CPU está formado por un SoC modelo Tensilica LX6 con las siguientes características y memoria
- Doble núcleo de 32 bits con velocidad de 160 MHz
- Memoria ROM de 448 kBytes
- Memoria SRAM de 520 kBytes
- Dispone de 48 Pines
- 18 ADC de 12 bits
- 2 DAC de 8 bits
- 10 pines sensores de contacto
- 16 PWM
- 20 Entradas/salidas digitales
- Alimentación y modos de consumo

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Para un correcto funcionamiento del ESP32 es necesario suministrar un voltaje de entre 2,8V y 3,6V. La energía que consume depende del modo de funcionamiento. Contiene un modo, el Ultra Low Power Solution (ULP), en que se continúan realizando tareas básicas (ADC, RTC...) en el modo Sleep.
- Modo CPU ULP WiFi/Bluetooth Tx WiFi/Bluetooth Rx Consumo
- Activo ON ON ON 120mAh
- Activo ON ON ON 85mAh
- Modem-Sleep ON ON 10mAh
- Light-Sleep ON 800uAh
- Deep-Sleep ON/OFF 200uAh
- Hibernation 2,5uAh

Para detalles técnicos del dispositivo consultar (SSDIELECT ELECTRONICA SAS , 2022)

2.4 Descripción del sensor HC-SR501

En un sensor de movimiento, el sensor PIR en realidad consta de 2 elementos detectores separados, y la diferencia de señal entre los dos es lo que activa la alarma de movimiento. La señal generada por el sensor HC-SR501 se envía al amplificador operacional y a la interfaz electrónica adicional. El módulo PIR HC-SR501 es un sistema pequeño e incorpora la última tecnología de sensor de movimiento. El sensor utiliza 2 potenciómetros y un puente para cambiar y ajustar sus parámetros según las necesidades de la aplicación: sensibilidad de detección, tiempo de activación y respuesta de detección.

Especificaciones técnicas:

- Usa el PIR LHI778 y el controlador BISS0001.
- Voltaje de alimentación: de 5 a 20 VDC.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Consumo promedio: menor a 1 miliamperio.
- Rango de distancia de 3 a 7 metros ajustable.
- Ángulo de detección: cono de 110°.
- Ajustes: 2 potenciómetros para ajuste de rango de detección y tiempo de alarma activa.
- Jumper para configurar la salida de alarma en modo mono-disparo o disparo repetitivo ('retriggerable')
- Salida de alarma de movimiento con ajuste de tiempo entre 3 segundos a 5 minutos.
- Salida de alarma activa Vo con nivel alto de 3.3 volts y 5 mA source, lista para conexión de un led, o un transistor y relevador.
- Tiempo de inicialización: después de alimentar el módulo HC-SR05, debe transcurrir 1 minuto antes de que inicie su operación normal. Durante ese tiempo, es posible que el módulo active 2 o 3 veces su salida.
- Tiempo de salida inactiva: cada vez que la salida pase de activa a inactiva, permanecerá en ese estado los siguientes 3 segundos. Cualquier evento que ocurra durante ese lapso es ignorado.
- Temperatura de operación: -15° a +70° C.
- Dimensiones: 3.2 x 2.4 x 1.8 cm

Para mayores detalles técnicos consultar en (Punto Flotante S.A, 2017)

2.5 Descripción del sensor HC-SR505

El sensor de movimiento Mini PIR HC-SR505 se basa en tecnología infrarroja, se puede controlar automáticamente, tiene alta sensibilidad y confiabilidad. Debido a su tamaño

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

más pequeño y modo de operación de bajo consumo, se usa ampliamente en varios equipos de automatización electrónica, especialmente en productos de automatización alimentados por batería.

Especificaciones técnicas:

- Rango de voltaje de trabajo: DC4.5-20V.
- Corriente de reposo: <60uA.
- disparador: disparador reutilizable (predeterminado).
- Tiempo de retardo: Estándar 8S +-30%.
- Tamaño del tablero: 10*23mm.
- Ángulo de detección: Ángulo de cono <100 grados.
- Distancia de registro: 3 metros.
- Temperatura de funcionamiento: -20 a +80 grados.
- Tamaño de la lente del sensor: Diámetro: 10 mm.

Para detalles técnicos del dispositivo consultar (Elecrow, s.f.)

2.6 Descripción del Arduino Uno

El Arduino Uno es una placa de desarrollo basada en el microcontrolador Atmega328. Tiene 14 pines de E/S digitales (4 de los cuales se pueden usar para salida PWM), 6 entradas analógicas, un resonador cerámico de 16 MHz, un conector USB, un conector de alimentación, un conector ICSP y un botón complejo.

Tiene todo lo que necesitamos para controlar el controlador, solo necesitamos conectarlo a la computadora mediante un cable USB o una fuente de alimentación externa, puede ser

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

un adaptador AC-DC o una batería, es importante señalar que, si es alimentado por un cable USB, no es necesaria una fuente externa en la computadora.

Especificaciones técnicas:

- Microcontrolador: *ATmega328*
- Voltaje Operativo: *5v*
- Voltaje de Entrada (Recomendado): *7 – 12v*
- Pines de Entradas/Salidas Digital: *14 (De las cuales 6 son salidas PWM)*
- Pines de Entradas Análogas: *6*
- Memoria Flash: *32 KB (ATmega328) de los cuales 0.5 KB es usado por Bootloader.*
- SRAM: *2 KB (ATmega328)*
- EEPROM: *1 KB (ATmega328)*
- Velocidad del reloj: *16 MHZ.*

Para detalles técnicos del dispositivo consultar (Sigma Electrónica LTDA, s.f.)

2.7 Descripción del Nema 17

El Nema 17 es un motor muy sofisticado que tiene varios usos, incluido el reemplazo de motores averiados en algunas impresoras 3D. Con este motor paso a paso, podrá controlar con mucha precisión la rotación de su eje para un movimiento preciso y así controlar el movimiento de una máquina o robot. Este motor paso a paso NEMA 17 es bipolar, tiene un ángulo de paso de $1,8^\circ$ (200 pasos por revolución), consume 1,2 A a 4 V por devanado y puede transportar 3,2 kg/cm (44 oz-in).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Especificaciones técnicas:

- NEMA 17
- Tamaño: 42.3×48 mm, sin incluir el eje
- Peso: 350 gramos (13 oz)
- Diámetro del eje: 5 mm "D"
- Longitud del eje: 25 mm
- Pasos por vuelta: 200 (1, 8º/paso)
- Corriente: 1.2 Amperios por bobinado
- Tensión: 4 V
- Resistencia: 3.3 Ohm por bobina
- Torque: 3.2 kg/cm (44 oz-in)
- Inductancia: 2.8 mH por bobina

Para detalles técnicos del dispositivo NEMA 17 consultar a (BricoGeek, s.f.)

2.8 Descripción del SG90

El Servo Motor SG90 es un motor de servidor compacto y liviano con alta potencia de salida. Los servos pueden girar alrededor de 180 grados (90 grados en cada dirección) y funcionan como el tipo estándar, pero son más pequeños. Puede usar cualquier código de servo, hardware o biblioteca para controlar estos servos. Perfecto para principiantes que quieren comenzar sin tener que construir un control de motor de retroalimentación y una caja de cambios, especialmente porque cabe en espacios pequeños. Viene con 3 cuernos (brazos) y herrajes.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Especificaciones técnicas:

- Dimensiones: 22mm x 11,5mm x 27mm
- Peso: 9 gramos
- Peso con cable y conector: 10.6 gramos
- Torque a 4.8 volts: 1.2 kg/cm
- Voltaje de operación: 4.0 a 7.2 volts
- Velocidad de giro a 4.8 volts: 120ms / 60 °
- Conector universal para la mayoría de los receptores de radio control
- Compatible con tarjetas como Arduino y microcontroladores que funcionan a 5 volts.

Para detalles técnicos del dispositivo SG90 consultar a (MCI electronics, s.f.)

A modo de cierre, el entender el funcionamiento del sensor para saber cómo adquiere la información y esta es transferida gracias a sus sistemas electrónicos, nos da pie a cómo diseñar un sistema electrónico que con la ayuda de otros elementos como el ESP 32 y el arduino uno se puede adquirir la información y posteriormente la interpretación de estos mismos datos ofrecidos por el sensor, además de que nos permite como desarrollar el sistema mecánico, pues tanto las dimensiones como las características de cada uno de los elementos nos indican que pasos seguir a la hora de realizar el diseño estructural.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3. METODOLOGÍA

El experimento se realizó en un ambiente controlado respecto al flujo de personas, pues se instauró como indispensable que este fuese mínimo, además se estableció un rango de operación en grados y se fueron registrando datos de distancia, es medidas de metros, según este ángulo. Este rango de ejecución de la prueba fue establecido desde 0 a 180 grados en intervalos de 10 grados. Considerando la configuración del sensor, el cual permitía la variación de la sensibilidad a una supuesta distancia mínima de operación según las especificaciones del sensor de 3 m y una distancia máxima de 7 metros.

El propósito de medir varios objetos con la intención de determinar los materiales a los que el sensor daba una respuesta, como lo son metal, plástico, entes orgánicos vivos y demás, fue de gran importancia, pero se registraron los datos obtenidos con entes orgánicos, pues estos están relacionado al objetivo de determinar presencia de seres humanos y animales, ya que la aplicación de este proyecto está directamente relacionada con la detección humana en robótica móvil.

Analizar las respuestas del sensor según las condiciones ambientales, para determinar si estas eran afectadas por tales condiciones, concretamente a cambios de temperatura, viento, humedad y precipitaciones.

Se realizó un código de programación en Arduino Uno, el cual alertaba si el objeto era detectado por el sensor permitiendo así, llevar los datos a una interfaz para guardar la información en tablas.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 4. Área de experimentación.



Figura 5. Otra perspectiva del área de experimentación.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3.1. Diseño mecánico

El sistema mecánico se desarrolló con el propósito de facilitar el funcionamiento del sensor comprendiendo un sistema rotativo en dos ejes a partir de dos motores, un motor paso a paso de referencia NEMA 17 para movimiento en eje vertical y un servomotor de referencia SG90 para movimiento en eje horizontal, estos dos controlados a partir de un microcontrolador vía wifi, además de un encapsulado del sensor HC-SR501.

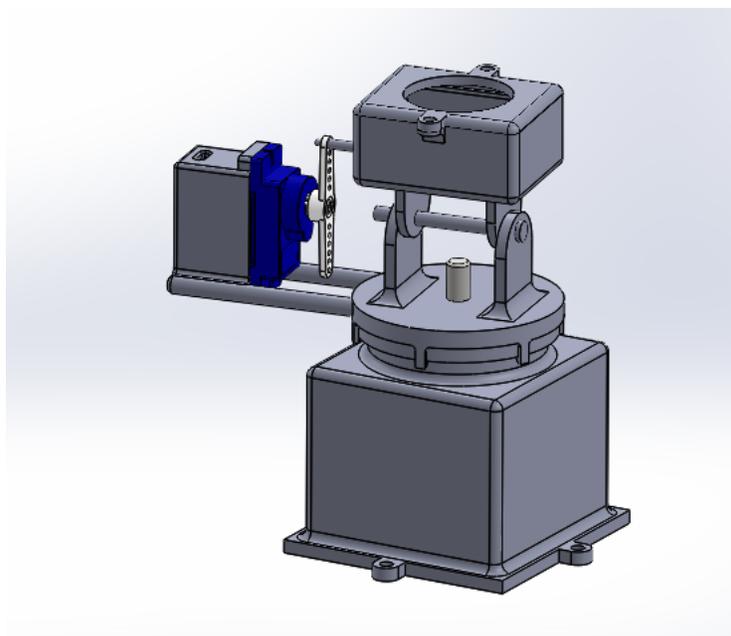


Figura 6. Diseño mecánico para el sistema de rotación y encapsulamiento del sensor.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

La primera parte del diseño consta de un encapsulado del motor NEMA 17 y este es un sistema fijo. Conectado a este y a su vez al eje del NEMA se encuentra un sistema circular que permite una rotación de 360 grados, este sistema circular cuenta con dos partes principales, una en la que se encuentra ubicado el servomotor y otro en el que se encuentra ubicado el sistema de acople entre el sistema circular y el encapsulado del sensor.

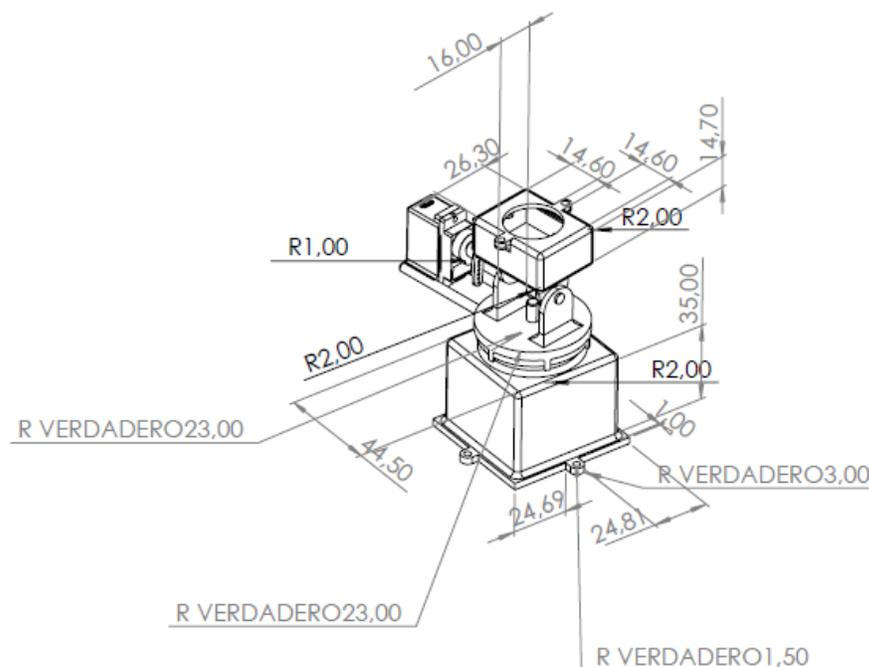


Figura 7. Plano isométrico del diseño mecánico

El encapsulado del sensor tiene la particularidad de permitir la salida del domo, el cual es básicamente es el que permite que la señal infrarroja detecte el movimiento.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3.2. Diseño electrónico

Inicialmente el sistema se compone principalmente por el sensor HC-SR505, debido a que este envía información constante y por un arduino uno, todo esto con el fin de obtener los datos ofrecidos por el sensor de forma experimental como se planteó, esta conexión es directa y solo ofrece datos

se puede ver la ilustración en la cual se aprecia la conexión tanto entre el Arduino uno, como el sensor HC-SR501,

Posteriormente , una vez se tiene claridad de los datos del sensor se procede a realizarla conexión eléctrica entre el módulo ESP32 con el sensor HC-SR501 para su funcionamiento final, más aún el sensor se vincula tanto con el motor NEMA 17 como con el motor SG90 pues este también realiza el control de movimiento de estos dos motores facilitando los movimientos que permiten ampliar el rango de operación, estas conexiones con los motores deben ser reguladas por lo que no se realizan directamente, sino que hay un driver de potencia en medio de las conexiones entre el ESP32 y el NEMA 17 para evitar un posterior problema de quemado, lo que se conoce generalmente como sistemas optocoplados

Tabla 1.

Interpretación del estado del sensor.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Respuesta	Significado
0 o LOW	Representa el estado bajo del sensor e indica que no se encuentra detectando algo
1 o HIGH	Por el contrario, indica la presencia de un objeto delante del sensor indicado por un estado alto

Nota. En esta tabla podemos apreciar las distintas representaciones que describen el estado de un sensor digital, y cómo poder trabajar esta señal a través del microcontrolador

Podemos ver la conexión y funcionamiento del sistema electrónico a través del diagrama de bloques en el cual se representa un sistema inteligente, donde en este caso se logran apreciar microcontrolador ESP32 como también se pueden ver los dos motores conectados al sistema y por supuesto el sensor HC-SR501

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

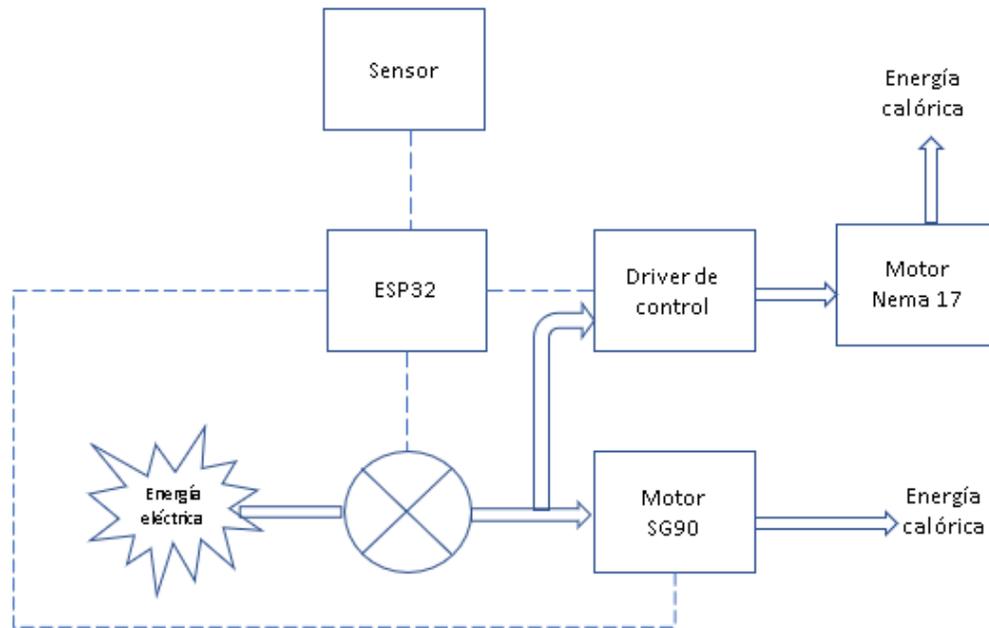


Figura 8. Diagrama de bloques que representa el sistema de control asociado al proyecto

También se presenta el esquema electrónico con la finalidad de presentar los componentes electrónicos relacionados con el sistema de detección por medio del sensor PIR de referencias HC-SR501 y movimiento de los motores de una manera sencilla y fácil de visualizar.

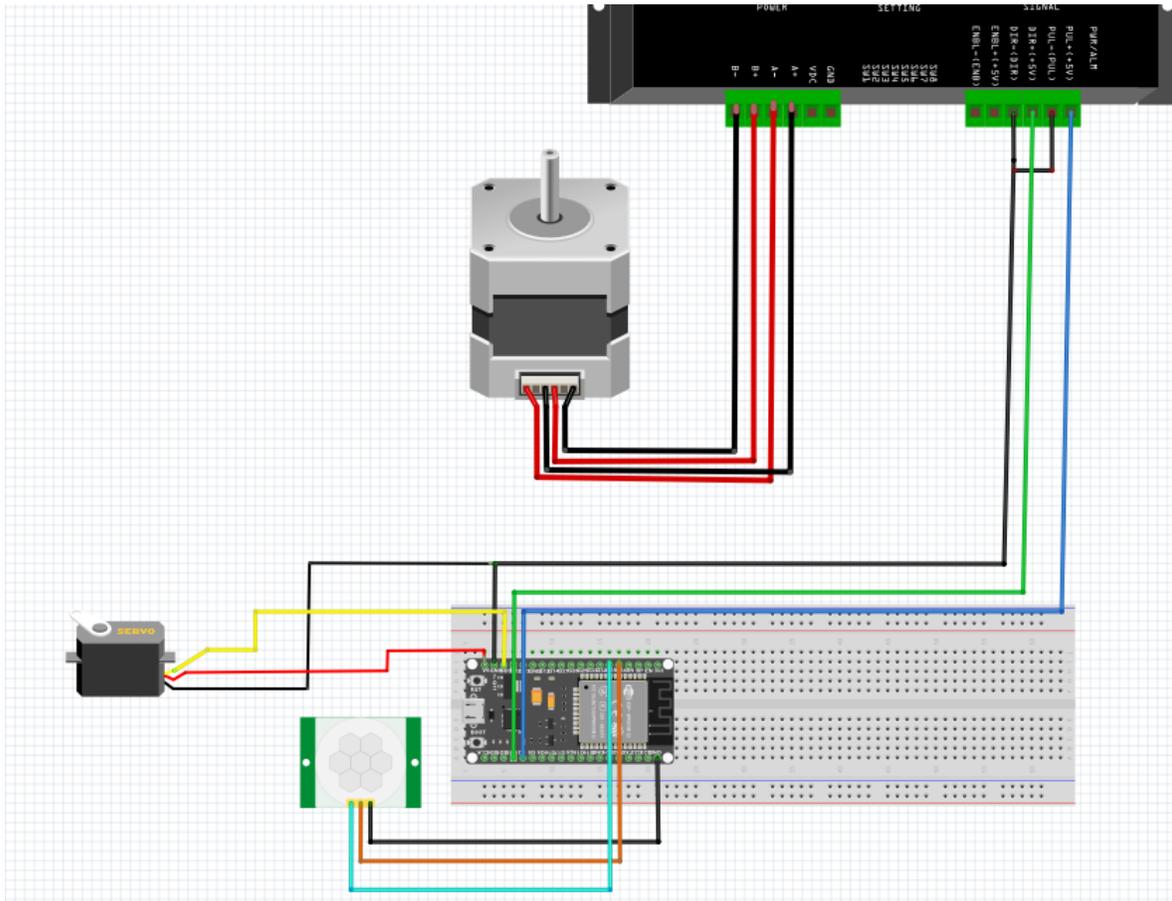


Figura 9. Diagrama de conexiones electrónicas

Además, se puede visualizar el diagrama de flujo del código relacionado al sistema donde se puede apreciar el funcionamiento de de acuerdo a ciertas condiciones como la medidas del sensor activando directamente el movimiento de los motores dependiendo de estas.

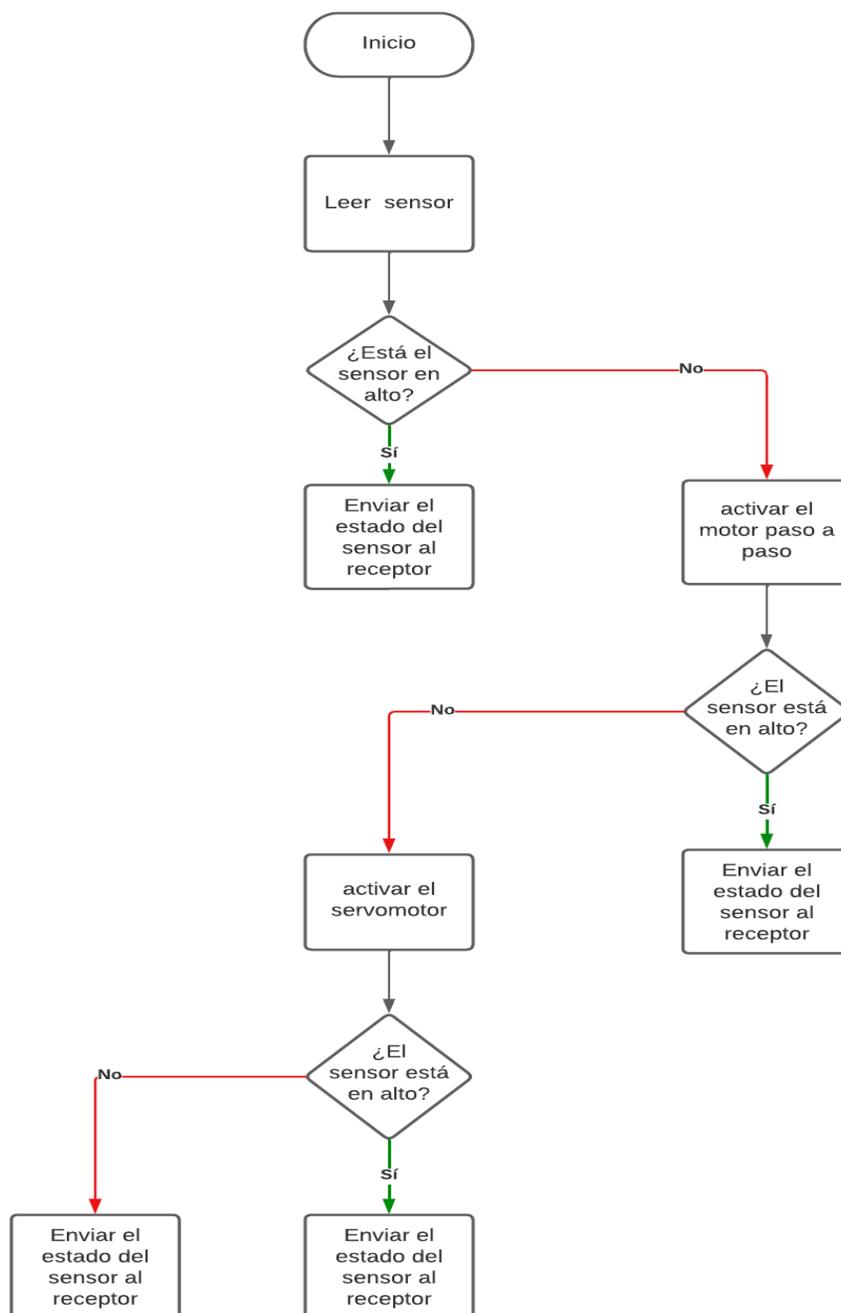


Figura 10. Diagrama de flujo que representa la programación del microcontrolador

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En síntesis, considerando los conceptos para el desarrollo de un experimento que permita determinar el rango de operación ideal para el sensor se puede plantear un diseño estructural y electrónico que pueda satisfacer las necesidades generadas a partir de un objetivo específico, siendo en este caso la detección de personas en la robótica móvil, donde por medio del diseño mecánico se puede ampliar el rango de operación y más aun por medio del diseño electrónico y de programación se logra enviar información de forma inalámbrica

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Ensamble final

En el ensamblaje final se puede apreciar las diferentes articulaciones que permiten al sistema girar y a su vez amplificar en rango de operación del sensor el cual de forma individual se ve limitado a un rango de alrededor de 100 grados, esto permite que la recepción de este sea de alrededor 360 grados en el plano xy x y de 180 en el plano yz permitiendo una vista similar al de una semiesfera .



Figura 11. Montaje físico del sistema de detección

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4.2 Pruebas de validación

Para la toma de datos se realizaron diferentes tablas en donde se establecen ciertos criterios para caracterización, siendo estos el promedio de 5 datos experimentales. Se determinó que el sensor presenta las mediciones en un mismo sentido por lo que solo se tomaron los datos en un solo eje horizontal. En la *tabla 2* se pueden observar los datos tomados para el sensor HC-SR 5051 en su sensibilidad mínima y considerando solo como elemento detectado a los seres humanos. Lo mismo se consideró para la *tabla 3* donde la variable en relación a los datos de la *tabla 1* son la sensibilidad, pues en esta tabla esta variable se encuentra definida como máxima.

Tabla 2.

Datos del sensor HC-SR501 en sensibilidad mínima

#	Ángulos (°)	Distancia(m)	Elemento detectado	Sensibilidad	Sensor
1	0	0.54	humano	mínima	sensor1
2	10	0.77	humano	mínima	sensor1
3	20	0.99	humano	mínima	sensor1
4	30	1.21	humano	mínima	sensor1
5	40	3.36	humano	mínima	sensor1

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Nota. La tabla muestra los cinco primeros datos obtenidos de forma experimental con el sensor HC-SR501 en el instante en que su sensibilidad era mínima

Tabla 3.

Datos del sensor HC-SR501 en sensibilidad máxima

#	Ángulos (°)	Distancia(m)	Elemento detectado	Sensibilidad	Sensor
1	0	0	humano	máxima	sensor1
2	10	0.15	humano	máxima	sensor1
3	20	2.8	humano	máxima	sensor1
4	30	2.95	humano	máxima	sensor1
5	40	2.93	humano	máxima	sensor1

Nota. La tabla muestra los cinco primeros datos obtenidos al realizar la adquisición de datos de forma experimental del sensor HC-SR501 en sensibilidad máxima

En la *tabla 4* se establecieron los valores de distancia ofrecidos por las respuestas en diferentes ángulos del sensor HC-SR505 donde para este no se tiene en consideración la variable de sensibilidad.

Tabla 4.

Datos del sensor HC-SR505

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

#	Ángulos (°)	Distancia(m)	Elemento detectado	Sensibilidad	Sensor
1	0	0.1	humano	no	sensor2
2	10	0.11	humano	no	sensor2
3	20	0.44	humano	no	sensor2
4	30	0.66	humano	no	sensor2
5	40	0.7	humano	no	sensor2

Nota. En la tabla se pueden apreciar los cinco primeros datos obtenidos al realizar la adquisición de datos de forma experimental del sensor HC-SR505

Una vez se tenía el contenido del .db se continuó con el análisis de datos, el cual arrojó información importante sobre el actuar del sensor principalmente el rango de operación de este, los puntos ciegos que se generaban a partir del principio de funcionamiento en sus rangos de sensibilidad máxima y mínima para el sensor HC-SR501 y de forma más sencilla los datos del sensor HC-SR505 , estos puntos ciegos se pueden observar gráficamente en la figura 8.

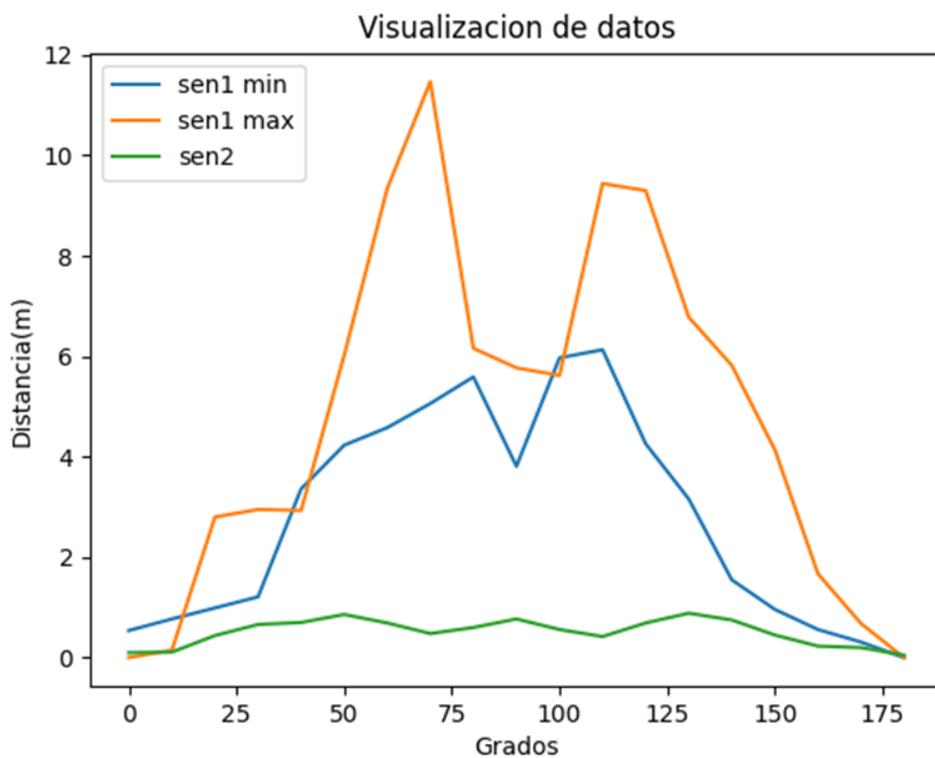


Figura 12. Interpretación cartesiana del rango de operación de los sensores

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Tabla 5.

Rango máximo de operación de los sensores

Sensor	Angulo	Distancia
Sensor 1 (sensibilidad mínima)	110	6.13
Sensor 1 (sensibilidad máxima)	70	11.47
Sensor 2	130	0.885

Nota. Cinco primeros datos obtenidos al realizar la adquisición de datos de forma experimental del sensor HC-SR505

Tabla 6

Rango mínimo de operación de los sensores

Sensor	Angulo	Distancia
Sensor 1 (sensibilidad mínima)	180	0
Sensor 1 (sensibilidad máxima)	0 y 180	0
Sensor 2	180	0.05

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Nota. Cinco primeros datos obtenidos al realizar la adquisición de datos de forma experimental del sensor HC-SR501

También a través de la gráfica anterior podemos observar una caída alrededor de los ángulos 75 y 100 para el sensor1 en su máxima sensibilidad, y 75 y 100 para el sensor en la mínima sensibilidad, lo que podemos catalogar como el punto ciego del sensor.

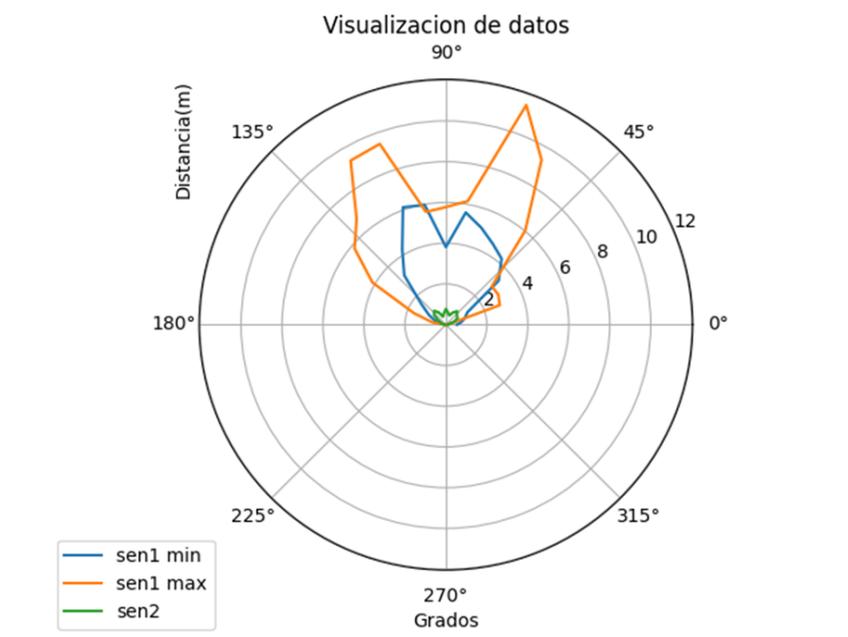


Figura 13. Rango de operación del sensor obtenido experimentalmente

En coordenadas polares podemos visualizar el rango de operación real de los sensores, determinado la operación de este y apreciando el punto ciego de forma real, notando la capacidad del sensor en las áreas de operación.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

También, durante el proceso de análisis de datos se obtuvo información sobre los valores promedio de distancia registrados en la *Tabla 6*. Estos valores indican que en cualquier ángulo recomendado se obtendrá una detección en estas distancias.

Tabla 7.

Promedio de las distancias

Sensor	Distancia promedio
Sensor 1 (sensibilidad mínima)	2.791578947368421
Sensor 1 (sensibilidad máxima)	4.791578947368421
Sensor 2	0.5076315789473684

Nota. Cinco primeros datos obtenidos al realizar la adquisición de datos de forma experimental del sensor HC-SR505

Además, se determinó la media del sensor, donde estos valores permitieron determinar el rango de operación óptimo del sensor donde la detección es la adecuada sin considerar ángulo o distancia como lo podemos ver en la siguiente imagen.

Tabla 8.

Mediana de las distancias

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Sensor	valor de la media
Sensor 1 (sensibilidad mínima)	3.16
Sensor 1 (sensibilidad máxima)	5.62
Sensor 2	0.56

Nota. Cinco primeros datos obtenidos al realizar la adquisición de datos de forma experimental del sensor HC-SR505

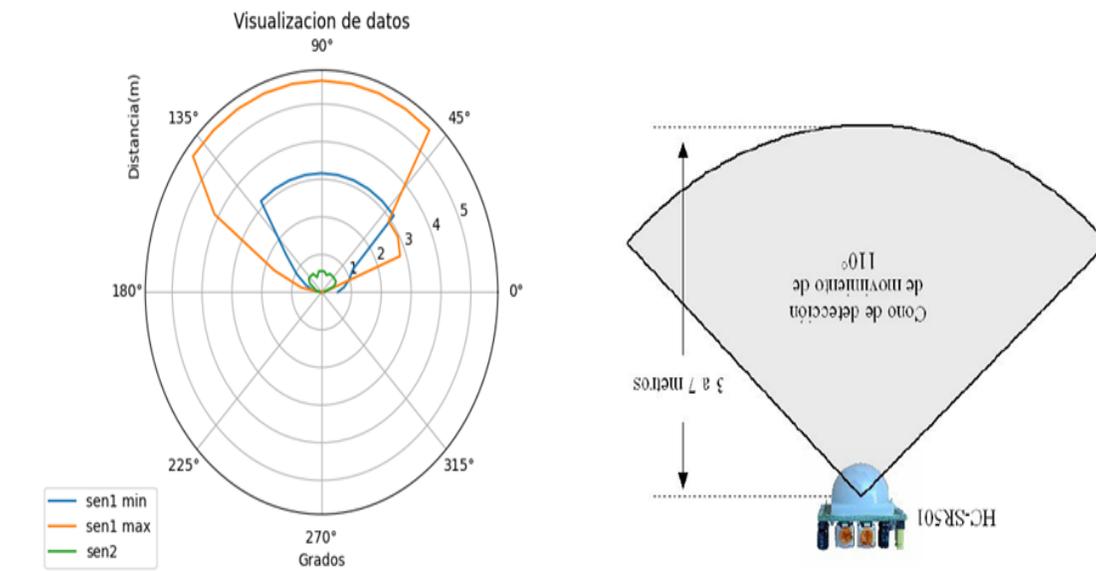


Figura 14. Rango óptimo de operación del sensor

Nota. Esta figura representa el rango óptimo de operación del sensor a partir de los datos obtenidos experimentalmente junto al rango establecido por el fabricante, este fue modificado de la información obtenida de (Punto Flotante S.A, 2017).

De un vistazo, se pueden ver los diversos nodos que permiten al sistema rotar y extender el rango de operación del sensor, el cual está limitado a unos 100 grados, así como crear varias tablas para la toma de datos, donde se definen ciertos criterios de caracterización; estos son valores de datos promedio de 5 experimentos, asegúrese de que los sensores muestran mediciones en la misma dirección para que los datos se recopilen solo en un eje horizontal, también muestre los datos recopilados usando el sensor menos sensible, recuerde que solo las personas se consideran detectadas objetos Si la variable asociada a los datos es Sensibilidad, este valor también se muestra porque está definido como el

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

valor máximo en la tabla. Independientemente de la variable de sensibilidad, la respuesta del sensor HC-SR505 en diferentes ángulos dará un cierto valor de distancia. Una vez que el contenido está listo, el análisis de datos continúa. Los datos revelaron información importante sobre el rendimiento del sensor, principalmente el rango operativo. Los puntos ciegos que se producen según el principio de sensibilidad son los sensores SR501 HC-max y min, que son fáciles de conectar. Con los datos del sensor HC-SR505, puede observar puntos invisibles en estos gráficos. Se puede observar que la sensibilidad máxima del sensor 1 está cerca de los 75 y 100 grados, pero la sensibilidad mínima ronda los 75 y 100 grados, lo que podemos catalogar como el punto ciego del sensor, esta información también se analiza en coordenadas polares. , que podemos visualizar el rango operativo real del sensor, determinar su rendimiento y evaluar los puntos ciegos y documentar la capacidad del sensor para funcionar dentro de su rango operativo. Adicionalmente, durante el análisis de datos, se obtuvo información sobre los valores de distancia promedio registrados, lo que indica que se lograría la detección en cualquier ángulo ofrecido a estas distancias.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

Conclusiones

- Al sugerir un esquema de diseño de nodo de sensor infrarrojo efectivo se obtiene un sistema de seguimiento de cuerpos pequeños de bajo precio en base a un PIR y un sistema de control de motores. Además de un procesamiento de señal de un sensor calibrado, lo que garantiza las medidas, es decir, estas cuentan con mayor precisión y exactitud.
- El diseño de detección a través de un sistema inalámbrico, concretamente de conexión Wifi facilita la obtención de la información, considerando que esta se analiza a mayores distancias, además de mejorar el sistema mecánico eliminando conexiones innecesarias.
- En este trabajo se logró desarrollar elementos de encapsulamiento por medio de manufactura aditiva, gracias a esto se logró satisfacer las necesidades de protección y más aún de movimiento, ampliando así el rango de detección del sensor PIR.
- Se pudieron validar las mediciones obtenidas a partir de la caracterización del sensor en relación a la información ofrecida por el datasheet proporcionado por el fabricante del sensor y así se pudo garantizar el rango de operación óptimo del sensor facilitando la obtención de información sin pérdida de generalidad aclarando que tanto el rango del ángulo y la distancia máxima son más reducidos de lo que se plantea en tal datasheet.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Recomendaciones

- Se recomienda implementar un sistema complementario junto a diversos sensores de detección para así a la hora de utilizarlos en el ámbito de la robotica móvil poder perfeccionar la detección de personas, ya sea con sensores como el microondas, el sensor de ultrasonido o cámaras para la detección por visión artificial.
- Se recomienda poner a prueba el sistema bajo una condición de movimiento, en un sistema robótico que permite comprobar el margen de error que pueda tener el sensor en estas condiciones .
- Se recomienda desarrollar un algoritmo para facilitar el filtrado de datos de detección y mejorar el tiempo de envío de la información para así tomar decisiones más eficientes
- Se recomienda desarrollar un algoritmo que promedie la información de los diferentes sensores y que podrían aplicarse el sistema de robótica móvil para la detección de personas y extrapolar los resultados.

Trabajo futuro

- Agregar un sistema de control adecuado para el movimiento de los motores incluyendo otros sensores que permitan monitorear variables como temperatura, la cual afecta directamente el sensor PIR y reduce su capacidad de reacción .
- incorporar mejoras de diseño mecánico, como también de diseño eléctrico, reduciendo material y si es posible, una mejor eficiencia en el movimiento, reduciendo fricción y aumentando velocidad .
- Mejorar la independencia energética del circuito, posiblemente añadiendo elementos como paneles solares .

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Desarrollar una interfaz por medio de programación para analizar los datos y tener un mejor control de todo el sistema, si es posible también desarrollar un sistema que indique si hay fallas en el modelo .

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

REFERENCIAS

BricoGeek. (s.f.). <https://tienda.bricogeek.com/>. Obtenido de <https://tienda.bricogeek.com/motores-paso-a-paso/546-motor-paso-a-paso-nema-17-32kg-cm.html>

Concepto, E. (11 de Noviembre de 2021). *CONCEPTO.DE*. Obtenido de <https://concepto.de/espectro-electromagnetico/>

Elecrow. (s.f.). <https://www.elecrow.com/>. Obtenido de <https://www.elecrow.com/hcsr505-mini-pir-motion-sensor-p-1382.html>

Garcia, A. F. (s.f.). *sc.ehu.es*. Obtenido de http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica_/cuantica/experiencias/espectro/espectro.html

MCI electronics. (s.f.). *mcielectronics.cl*. Obtenido de <https://mcielectronics.cl/shop/product/micro-servo-motor-sg90-9g-25775/>

Microsegur. (s.f.). *microsegur.com*. Obtenido de <https://microsegur.com/que-es-un-sensor-de-movimiento-pir/>

Punto Flotante S.A. (2017). *puntoflotante.net*. Obtenido de <https://puntoflotante.net/MANUAL-DEL-USUARIO-SENSOR-DE-MOVIMIENTO-PIR-HC-SR501.pdf>

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Revista de Robots. (2020). *Revista de Robots*. Obtenido de <https://revistaderobots.com/robots-y-robotica/robotica-movil-que-es-la-robotica-movil-y-para-que-sirve/>
- Sigma Electrónica LTDA. (s.f.). <https://www.sigmaelectronica.net/>. Obtenido de <https://www.sigmaelectronica.net/producto/a000073/>
- SSDIELECT ELECTRONICA SAS . (2022). <https://ssdielect.com/>. Obtenido de <https://ssdielect.com/sistemas-de-desarrollo-esp8266-wifi/164-esp32-o-esp-32s-wifi.html>
- Verma, M., Kaler, R. S., & Singh, M. (2021). Sensitivity enhancement of Passive Infrared (PIR) sensor for motion detection. *Optik*.
- Yang, B., Luo, J., & Liu, Q. (2014). A novel low-cost and small-size human tracking system with pyroelectric infrared sensor mesh network. *Infrared Physics & Technology*, 147-156.
- Yang, B., Wei, Q., & Zhang, M. (2017). Multiple human location in a distributed binary pyroelectric infrared sensor network. *Infrared Physics & Technology*, 216-224.
- Yuan, L., Yang, B., & Wei, Q. (2019). Human indoor location for binary infrared sensor tracking system: On improved credit and dynamic pruning algorithm. *ISA Transactions*, 370-378.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FIRMA ESTUDIANTES _____

FIRMA ASESOR JUAN SE.

FECHA ENTREGA: 1/3/2023

Informe Final

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO____ ACEPTADO____ ACEPTADO CON MODIFICACIONES _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____