

**Centro de Posgrados**

**Maestría de Investigación en Electrónica**

**Proyecto de Titulación:**

**Evaluación del desempeño de la tecnología WiFi para el control en tiempo real de un brazo robótico**

**Autor:** Ing. Luis Topón

**Director del Proyecto:** Ing. Román Lara PhD





# Introducción



Ocio del ser humano



Hombre no corra riesgos

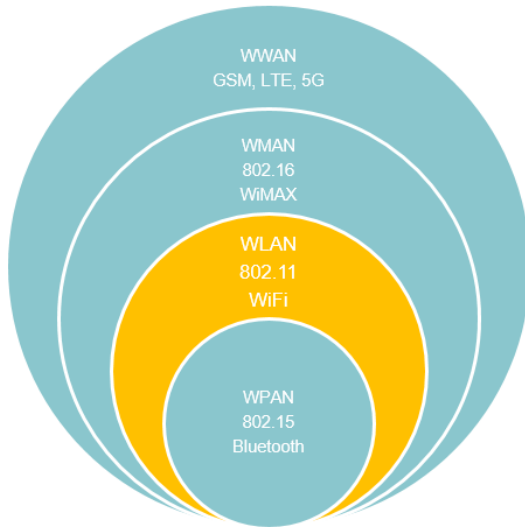


Tele operación



Redes Inalámbricas

# Introducción



Tipos de Redes Inalámbricas



Métricas asociadas a la QoS

## ESTÁNDARES WIFI IEEE 802.11



IEEE 802.11n

Estándar	Frecuencia de trabajo	Velocidad de Transferencia
IEEE 802.11 b	2,4 GHz	11 Mbps
IEEE 802.11 g	2,4 GHz	54 Mbps
IEEE 802.11 n	2,4 GHz y 5 GHz	600 Mbps
IEEE 802.11 ac	5 GHz	1300 Mbps

## Objetivos Específicos

### Objetivo General

Evaluar el desempeño de la tecnología WiFi para el control en tiempo real de un Brazo Robótico.

- Implementar la red inalámbrica mediante protocolo MQTT para el control del Brazo Robótico.
- Programar el sistema para que cumpla con el funcionamiento adecuado y permita el movimiento del Brazo robótico.
- Realizar pruebas de inyección de tráfico invasivas y no invasivas para el análisis de funcionamiento del prototipo, mediante la comprobación de las variables que influyen en el sistema de comunicación inalámbrica.
- Analizar el tiempo total de respuesta del sistema por medio de la inyección de tráfico en la red inalámbrica

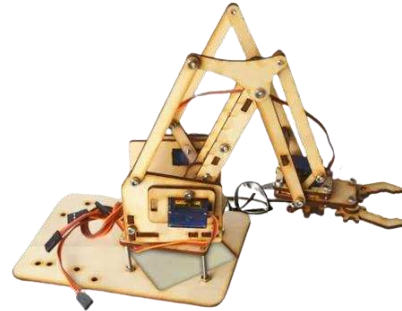
## Materiales



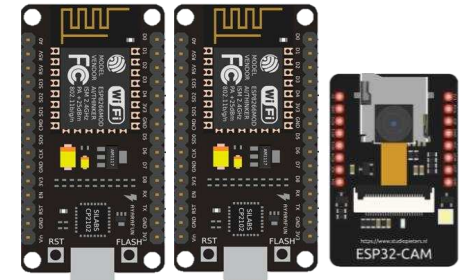
PC Portátil



Router Inalámbrico



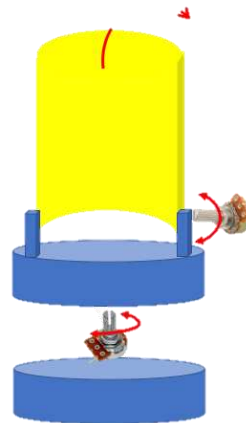
Brazo robótico



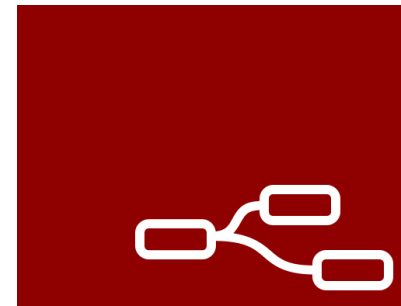
Módulos ESP32



Sensores flexibles y Guante antiestático



Diseño e impresión 3D



**Node-RED**

Software de visualización

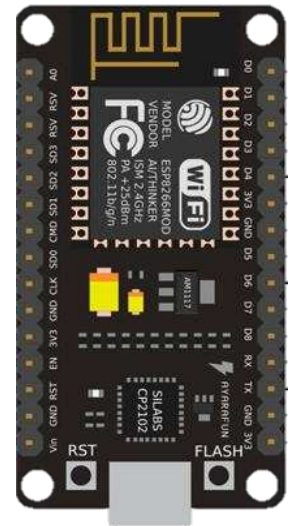
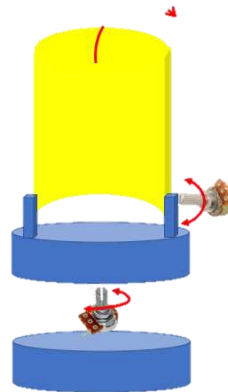
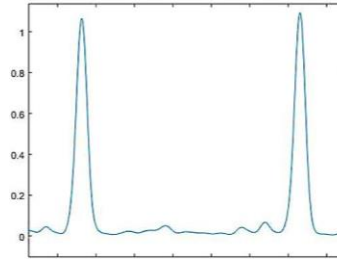
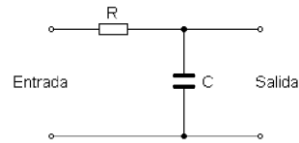
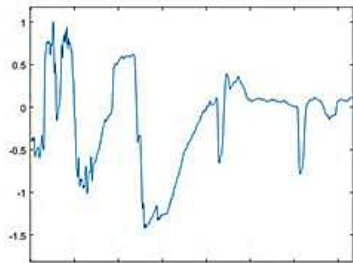
## Materiales

### Características Routers

<b>CARACTERISTICAS</b>	
<b>VOLTAJE</b>	12 VDC
<b>ANTENAS</b>	3 omnidireccionales fijas de 5 dBi
<b>ESTÁNDARES</b>	IEEE 802.11 b/g/n/
<b>FRECUNECIA</b>	2.4-2.4835
<b>POTENCIA DE TRANSMISIÓN</b>	< 20 dBm

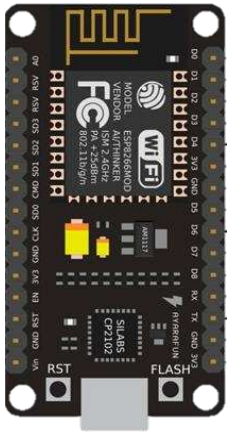


AP



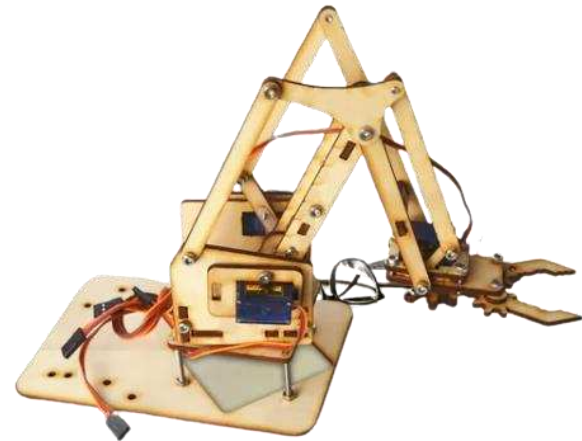
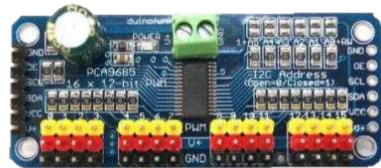


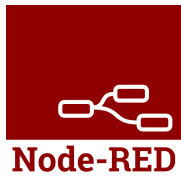




I2C

PCA 9685





PROYECTO DE TESIS ESPE 2022

JITTER POR PARTES

BRAZO



MUÑECA



ANTEBRAZO



MANO



CAMARA



JITTER DEL SISTEMA

ANTEBRAZO



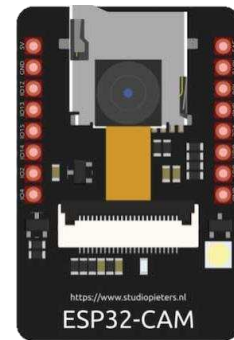
BRAZO

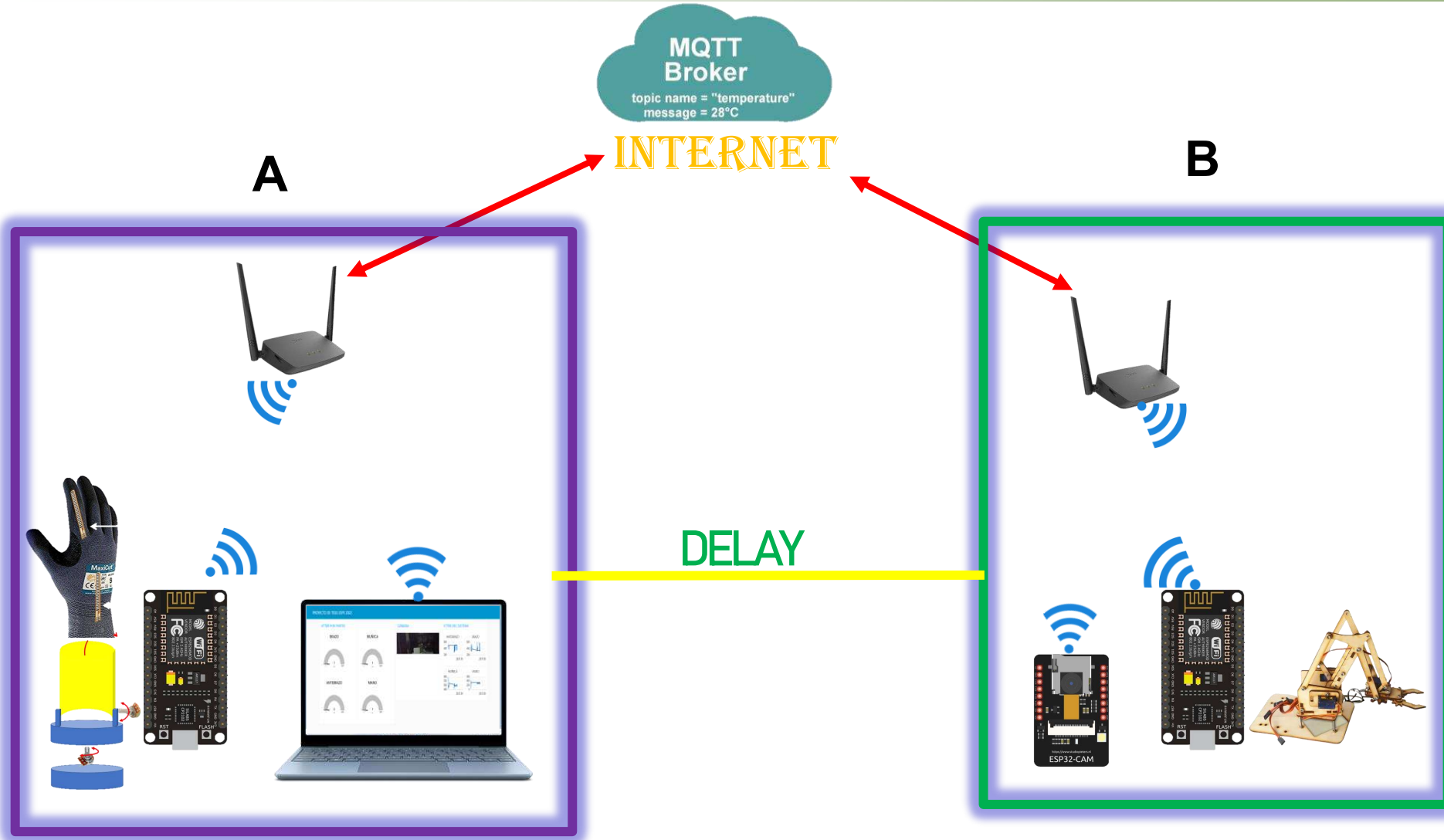


MUÑECA



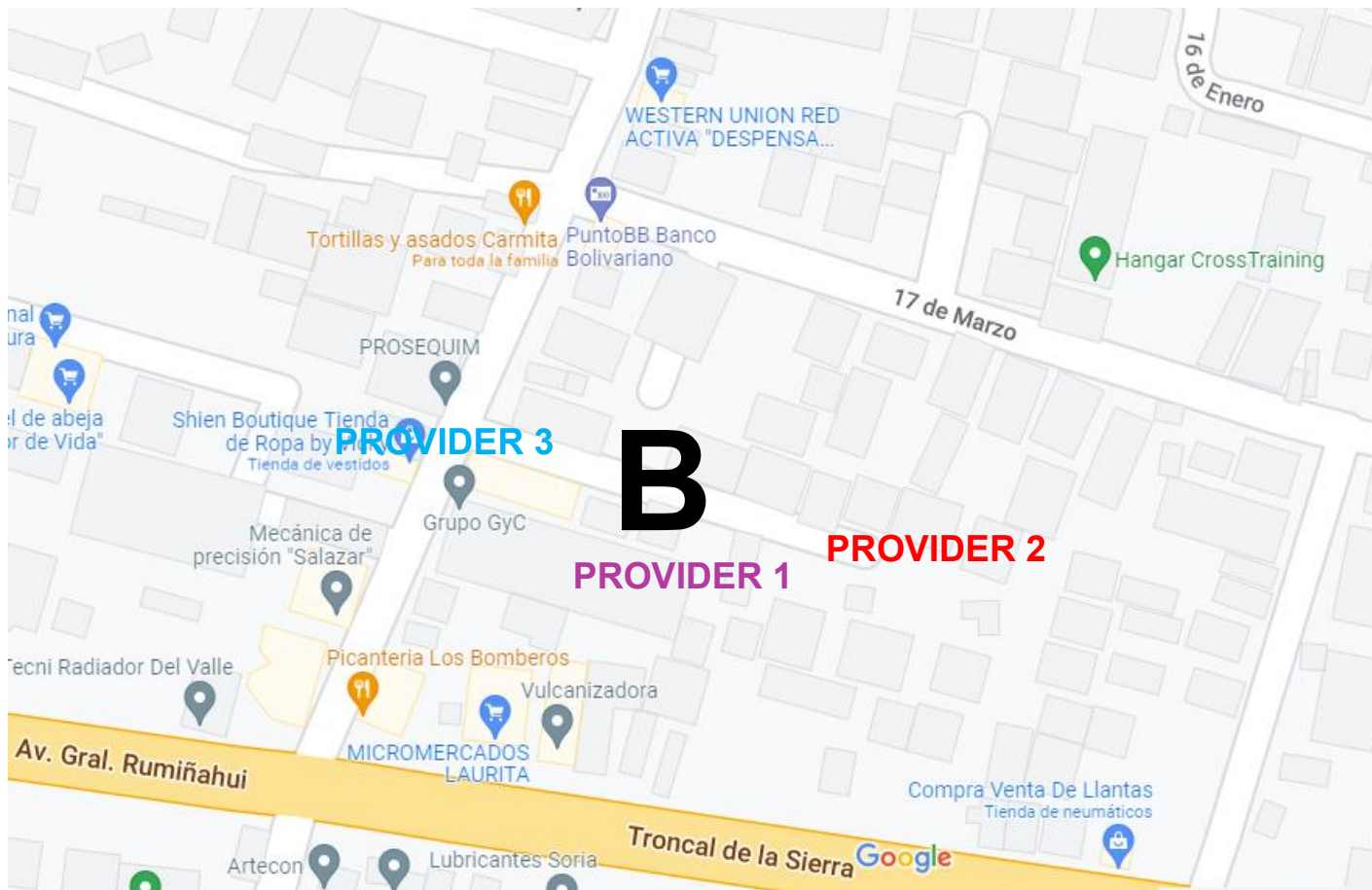
MANO





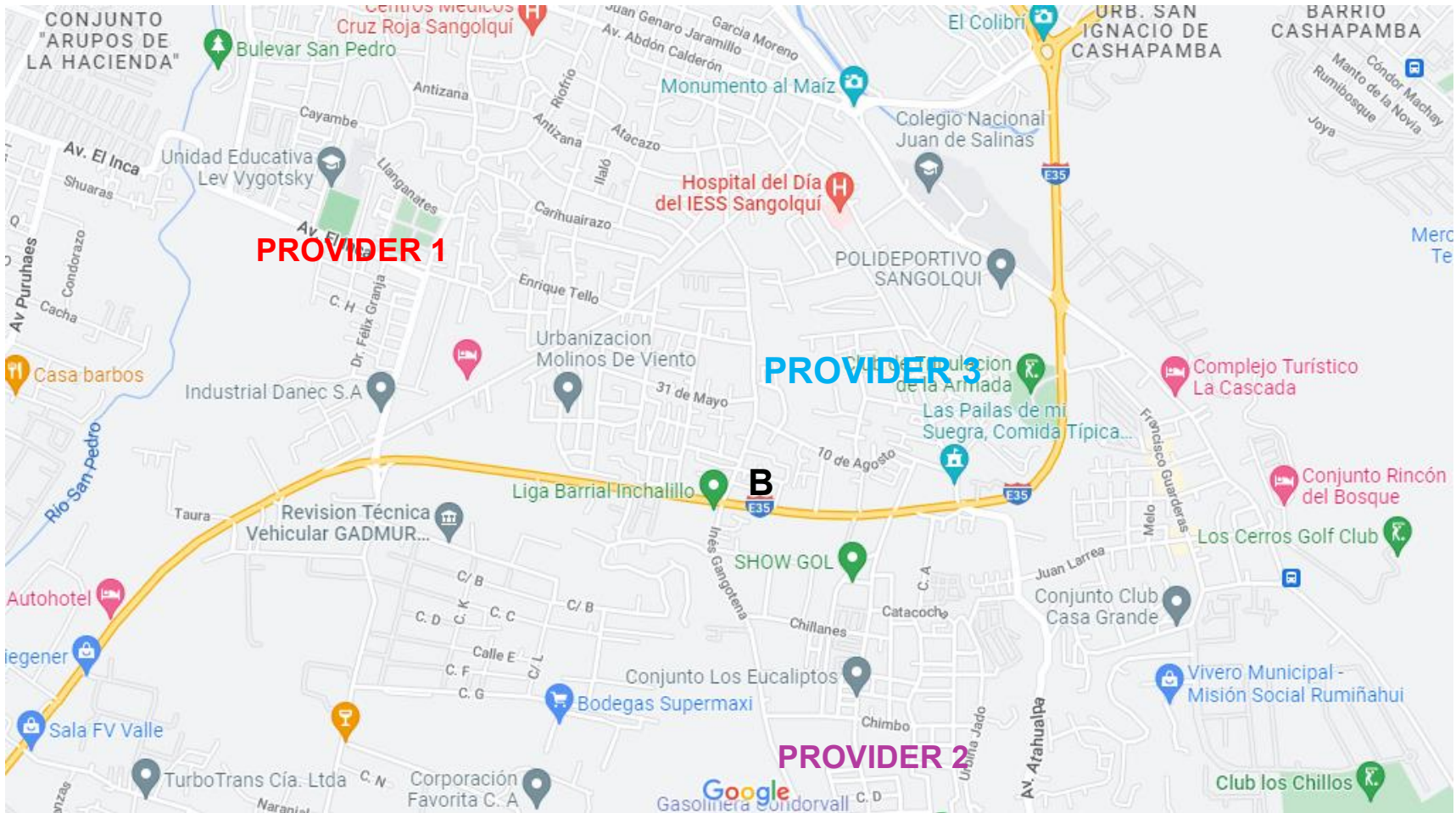
## Escenarios de Prueba

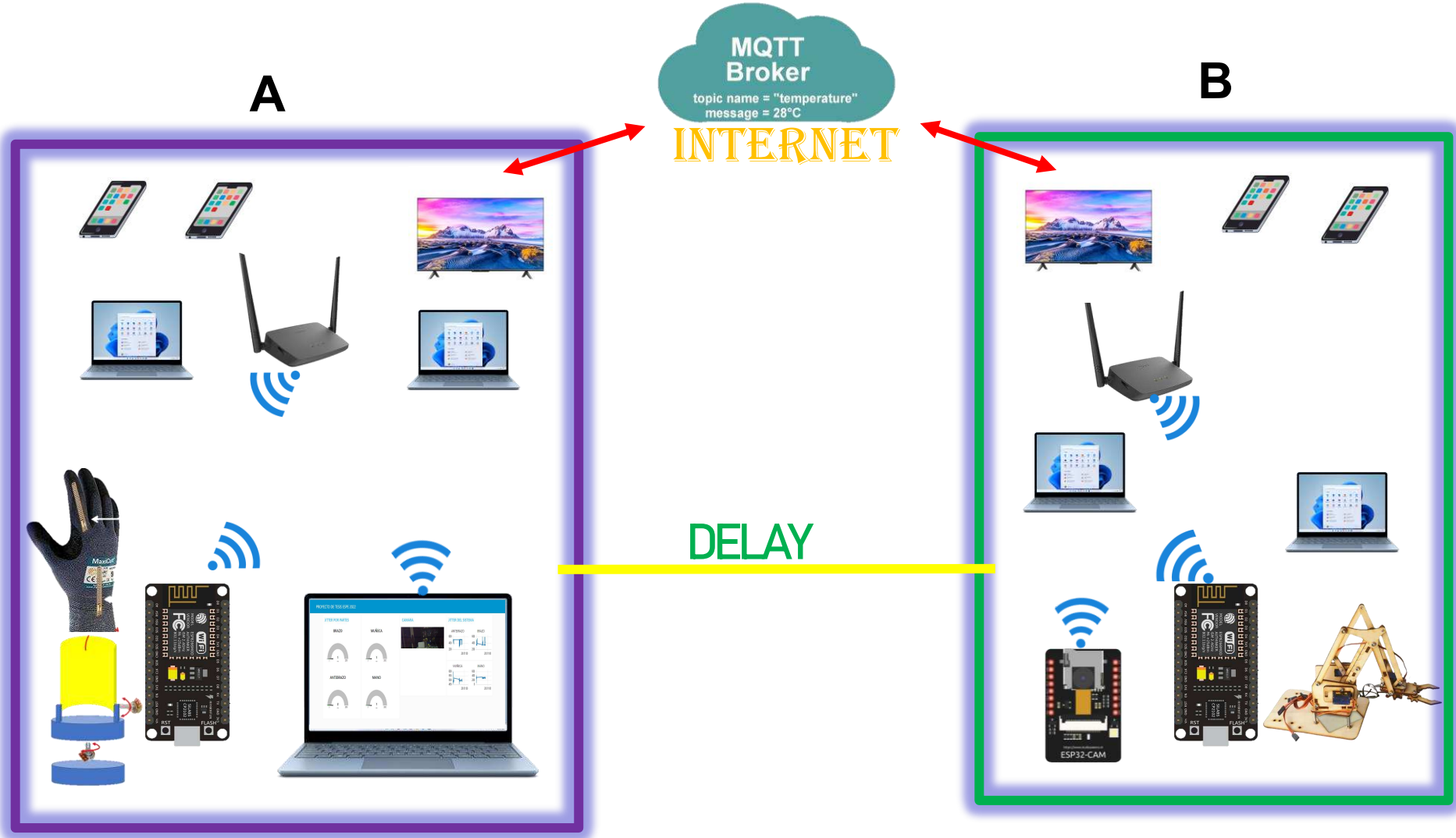
### ESCENARIO 1

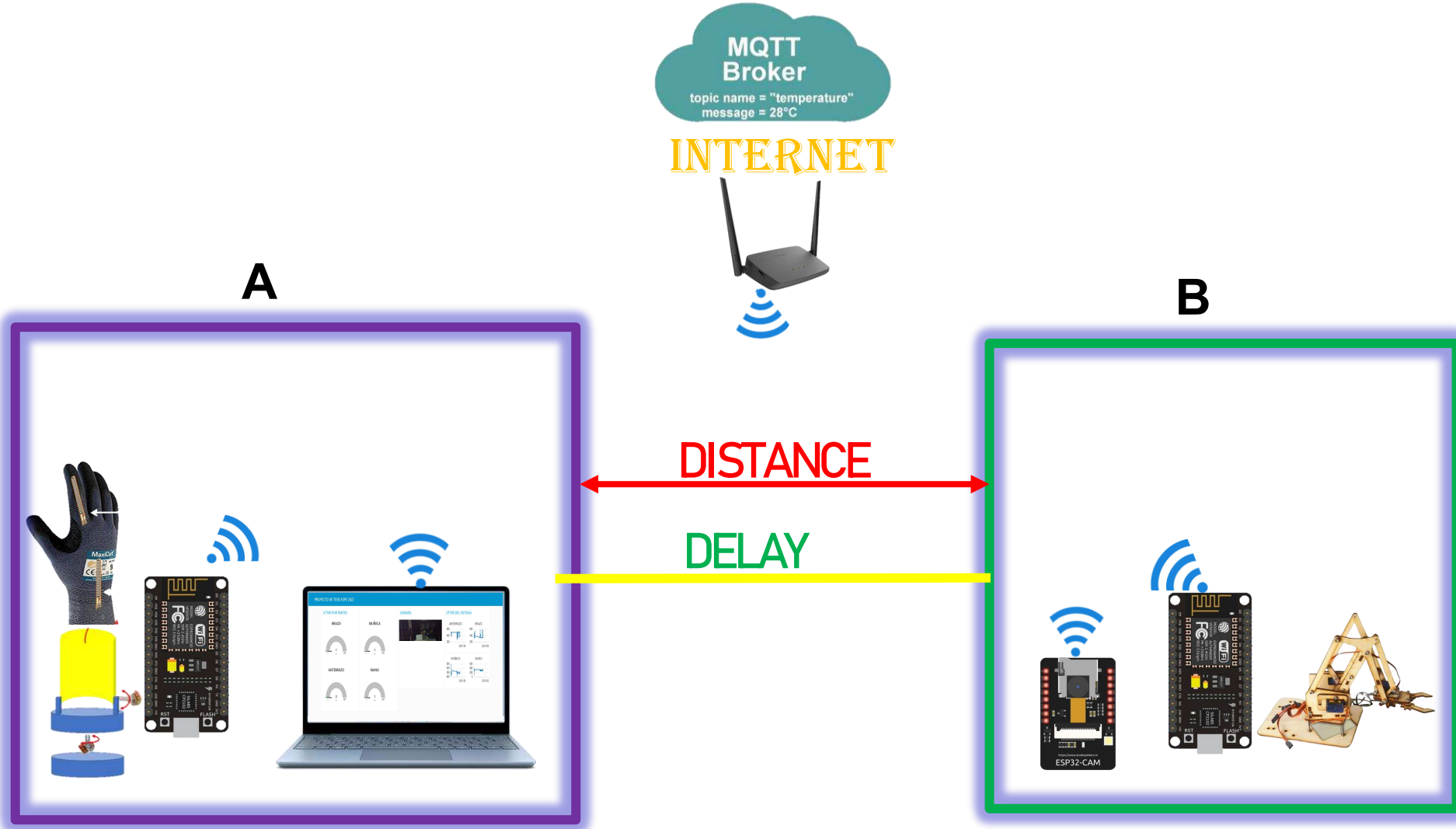


## Escenarios de Prueba

### ESCENARIO 1









**Retardo de transferencia de paquetes:** Es el tiempo de demora que tiene un paquete de datos al ser enviado de un punto a otro.

$$\delta = t_{rx} + t_{tx} + t_{cola} + t_{pr}$$

**Jitter (Variabilidad del retardo):** El retardo de un paquete varia a lo largo del camino entre el transmisor y receptor esta variación de tiempo se le llama Jitter..

$$Jitter = \frac{\sum |retardo_i - retardo_{i-1}|}{n - 1}$$



*VARIANZA:*

$$s^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2$$

*DESVIACIÓN ESTÁNDAR:*

$$s = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

Donde  $\bar{x}$  representa el retardo medio,  $x_i$  es la muestra de cada retardo y  $N$  en número de muestras.

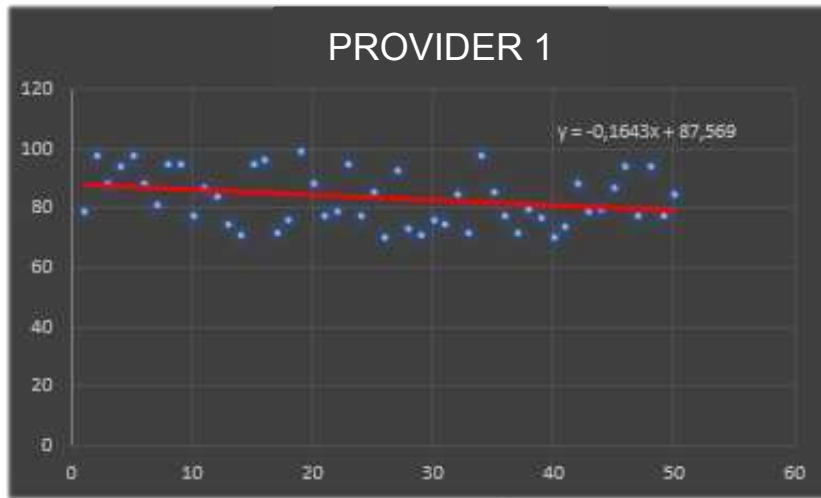
*ERROR ESTIMADO:*

$$e = \sqrt{\frac{1}{N-2} \sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y}_i)^2}$$

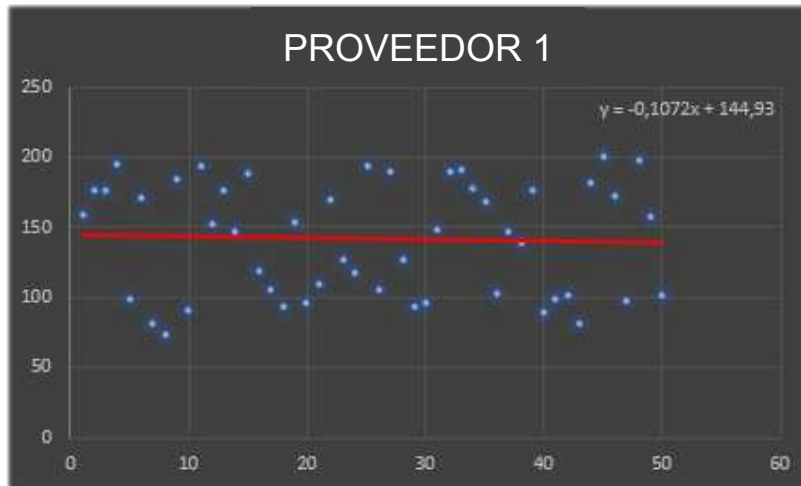
Donde  $\bar{Y}$  representa el retardo medio respecto a la ecuación de la regresión lineal,  $Y_i$  es la muestra de cada retardo esperado y  $N$  en número de muestras



## Escenario 1



## Escenario 2



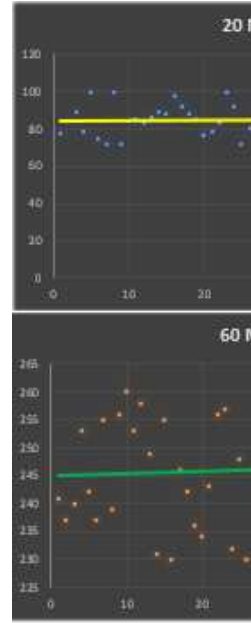
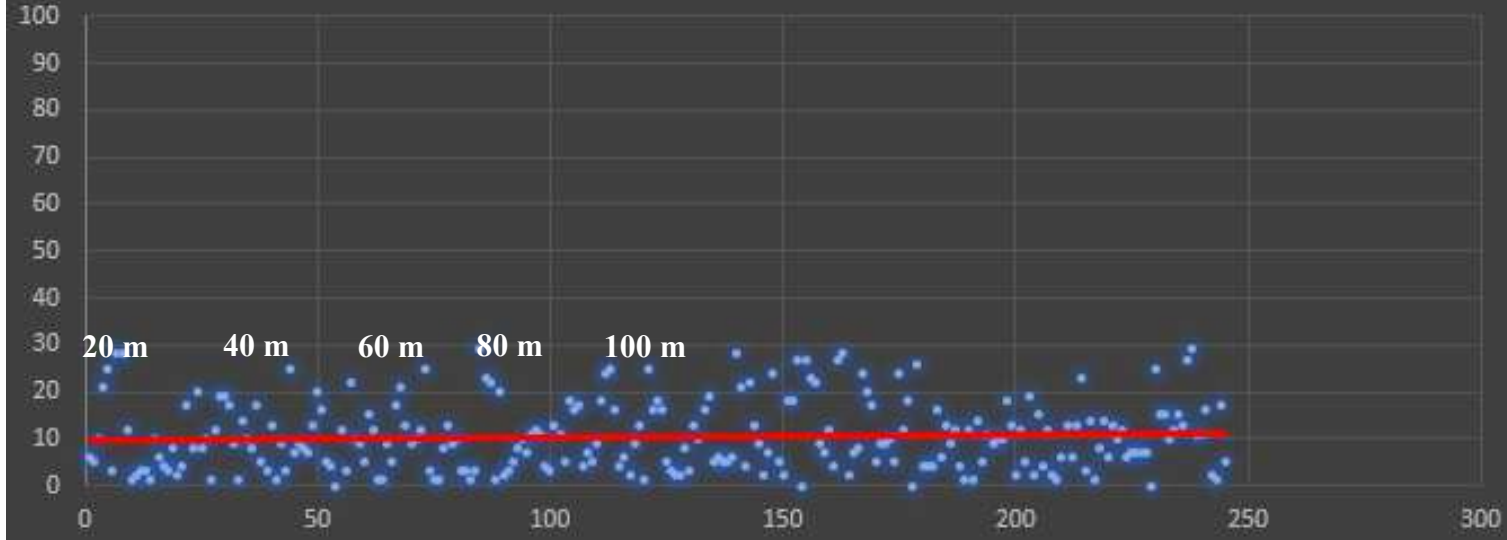
### CON DISPOSITIVOS EN SU RED

PROVEEDOR	MEDIA DE RETARDO (ms)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE RETARDO (ms)	ERROR ESTÁNDAR DE RETARDO (ms)	JITTER (ms)
PROVEEDOR 1	142,20	40,13	40,52	45,59
PROVEEDOR 2	186,60	60,49	60,94	73,37
PROVEEDOR 3	231,48	94,45	95,25	107,14



## Escenario 3

### JITTER



### PRUEBAS DE DISTANCIA

DISTANCIA	MEDIA DE RETARDO (ms)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE RETARDO (ms)	ERROR ESTÁNDAR DE RETARDO (ms)	JITTER (ms)
20 metros	85	8,67	8,53	9,76
40 metros	155	28,21	27,56	9,69
60 metros	246	36,03	35,55	10,59
80 metros	364	78,71	78,01	11,92
100 metros	503	139,67	138,12	10,51



# Conclusiones

- El desempeño de la tecnología WiFi sin tráfico invasivo para sistemas en tiempo real, se tiene que a mayor ancho de banda el retardo en la comunicación inalámbrica es menor, esto se verifica con los siguientes resultados, en el cual se realizaron pruebas con tres proveedores de Internet Proveedor 1, Proveedor 2 y Proveedor 3, presentándose los siguientes valores 83.38 ms, 97.16 ms, y 111.56 ms respectivamente, siendo Proveedor 1 el de mayor ancho de banda ya que presenta el menor retardo, con estos resultados realizamos el cálculo del error estándar el cual nos da valores de 8.77 ms, 11.58 ms y 21.05 ms para cada proveedor respectivamente, y esto nos da a conocer cuanto retardo puede variar en la comunicación Inalámbrica y con estos valores se tiene que el Jitter promedio del sistema en los siguientes valores 10.37 ms, 14.82 ms y 22.96 ms, demostrando así que el ancho de banda influye mucho en los resultados y también el número de nodos que presente un su red de Internet cada uno de los proveedores, el cual permite que los datos viajen por nodos más cortos o nodos más largos que hacen que se produzca esta variación de retardo.
- El proyecto se ha desarrollado con el fin evaluar el desempeño de la tecnología WiFi con inyección de tráfico invasivo y no invasivo que era unos de los objetivos planteados pero en el proceso de desarrollo del proyecto no se encontró un software que cumpliera con esa función real para inyectar tráfico a la red, para lo cual, para que se acerque a lo más real posible la inyección de tráfico se realizó pruebas con 10 dispositivos conectados a la red los cuales todos estaban sincronizados para enviar videos, video llamadas, datos etc. De esta manera se obtuvieron los siguientes resultados para los mismos 3 proveedores Proveedor 1, Proveedor 2 y Proveedor 3, su retardo medio es 142.2 ms, 186.60 ms y 231.48 ms, aun así, se tiene retardos aceptables y esto sucede ya que los datos enviados no ocupan mucho espacio, son muy pequeños y una principal característica del protocolo MQTT es dar la prioridad a este tipo de datos que no ocupan mucho ancho de banda, lo que si debemos ser conscientes es que el protocolo no minimiza el Jitter por la prioridad del envío de datos, basándonos en esto el Jitter presenta los siguientes resultados 45.59 ms 73.37ms, y 107.14, esto demuestra que los datos tienden a tomar diferentes caminos con el fin de llegar al destino.



# Conclusiones

- Para quedar aún más claros con el análisis de desempeño de la tecnología WiFi se realizaron pruebas solo con el proveedor del cual se tiene menor retardo medio, para el caso Proveedor 1, se realizaron pruebas con distancias cortas menores a 20 m y presentaba casi el mismo retardo de un sistema sin dispositivos, por lo que se decidió extender el panorama pero con línea de vista directa, para lo cual se extendió hasta 100 m ya que al ir unos metros más allá hasta los 110 m se perdía el enlace de comunicación inalámbrica, para lo cual se toma muestras en pasos de 20 m , teniendo así los intervalos en 20m, 40m, 60 m, 80m, y 100m, demostrando así que la distancia en un sistema inalámbrico de tiempo real, afecta al retardo en la comunicación mas no afecta al Jitter ya que en las pruebas de distancia no se conectó ningún dispositivo a la red que afecte la latencia del Jitter, en este contexto se tiene los siguientes resultados del retardo medio 85 ms, 155 ms, 246 ms, 364 ms y 503ms respectivamente ara cada una de las distancias propuestas y a si mismo el resultado del Jitter es el siguiente 9.76 ms, 9.69 ms, 10.59 ms, 11.92 ms y 10.51 ms, por consiguiente, por medio de estos resultados en la investigación y analizada la bibliografía general de estos sistemas donde no hablan sobre este tipo de análisis de desempeño en tiempo real, me atrevo a afirmar que el Jitter se mantiene constante en un sistema inalámbrico con tecnología WiFi basado en el estándar IEEE802.11n siempre y cuando en el sistema este dedicado solo para este propósito de prototipos teledirigidos con la tecnología WiFi.
- El protocolo MQTT es muy seguro por los tópicos que maneja, el cual fue implementado con éxito pero cabe recalcar que una de las recomendaciones es que cada cliente debe tener su ID propio con el fin de no confundir al protocolo MQTT y no se pierda paquetes de información por lo cual, no pueden existir 2 clientes con el mismo nombre, permitiendo así el control del brazo robótico en tiempo real por medio de un servidor AWS que se implementó con la plataforma Ubuntu y configuraciones básicas de un ordenador.
- El sistema fue programado en el IDE de Arduino, el cual por medio de librerías se programó el módulo ESP32 el cual recoge la señal filtrada de los *flex sensor* por medio de las entradas ADC las procesa y convierte en datos los cuales son enviadas al servidor el cuál envía al receptor y envía la señal PWM al brazo robótico para ser movido en la posición correcta.



# Conclusiones

- Se considera que las señales tienen un tiempo de retardo así mismo el servomotor el cual por la señal PWM presenta un retardo de 30 ms de respuesta ante las señales recibidas, no obstante, debe tener una buena corriente con el fin de que tenga potencia y fuerza para levantar un peso adecuado.
- Los resultados arrojados por el sistema de comunicación inalámbrica han sido comparados con diferentes proveedores de internet lo cual es un factor muy importante al realizar este tipo de proyectos, ya que las empresas nos ofrecen altos anchos de banda y un equipo con poca potencia de transmisión y recepción de datos para lo cual se debe verificar que la red de internet sea estable, y así tener una menor latencia a los retardos.
- Los diferentes proveedores de internet en el Ecuador manejan diferentes tasas de transmisión o dependen de un plan contratado en la velocidad de envío de información el cual es un factor predominante en los Sistema IoT ya que las pruebas demuestran mayor retardo dependiendo del ancho de banda. También depende del número de dispositivos conectados a la misma red, se recomienda para sistemas IoT obtener un ancho de banda dedicado solo para este propósito por el retardo que presenta la señal con otros dispositivos conectados a la misma red.
- Una vez revisada las normas y estándares de la UIT conjuntamente con bibliografía científica se observa que no se tiene un tiempo de retardo estimado para este tipo de aplicaciones en tiempo real, por lo que el centro de investigación de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE y desarrollador del presente proyecto, basándose en las pruebas realizadas, propone que el retardo mínimo para sistemas en tiempo real el retardo medio mínimo es 83 ms, en las condiciones presentadas en el presente proyecto, tendiendo así a la constante mejora y posible minimización de este tipo de retardos



# Trabajos Futuros

- Nuestro grupo de investigación está interesado en realizar pruebas dentro de las instalaciones de la Universidad de las fuerzas armadas ESPE donde se presenta un mayor número de usuarios conectados a la red con el objetivo de realizar el mismo análisis de desempeño en cuestión de retardo y Jitter
- Así mismo diseñar e implementar un sistema inalámbrico con el objetivo de minimizar la varianza de retardo (Jitter), el cual como se muestra en el presente proyecto es un problema ya que los paquetes por Internet tienden a tomar diferentes caminos por lo que se produce el Jitter.
- Trabajar en el diseño de nuevos robots que no ocupen servomotores mecánicos para la minimización de retardos por sistemas mecánicos.
- Basándonos en los resultados obtenidos respecto a un Jitter constante se propone el diseño e implementación con otros protocolos con el fin de minimizar el Jitter ya que en la práctica se consiguió mantener el Jitter constante, y se puede re alizar estudio por medio de fibra óptica y otros estándares de comunicación y protocolos aún más potentes.

**CENTRO DE POSGRADOS  
MAESTRÍA DE INVESTIGACIÓN EN ELECTRÓNICA MENCIÓN TELECOMUNICACIONES**

**PROYECTO DE TITULACIÓN:**

**Evaluación del desempeño de la tecnología WiFi para el control  
en tiempo real de un brazo robótico**

**Autor:** Luis Topón

**Director del Proyecto:** Ing. Román Lara PhD

