



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

# UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - “ESPE”

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE SISTEMA DE GESTIÓN DE  
SERVICIOS BÁSICOS PARA UNA CIUDAD INTELIGENTE BASADO EN  
PROCESAMIENTO DE EVENTOS COMPLEJOS”**

**AUTOR: LUIS ROBERTO YANEZ MOROCHO**

**DIRECTOR: ING. DARWIN OMAR ALULEMA FLORES, PhD.**

VERSIÓN: 1.1



# Agenda



Introducción

Objetivos

Diseño

Implementación

Pruebas y Resultados

Conclusiones y Trabajos Futuros



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

# Introducción

Antecedentes

## POBLACIÓN



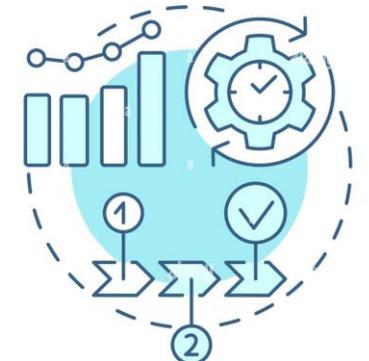
## TRANSMISIÓN DE DATOS



## MEDIDORES INTELIGENTES



## PROCESAMIENTO DE EVENTOS COMPLEJOS



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

# Introducción

Estudios realizados



## Mapeo Sistemático de la Literatura (SMS)

Término clave	Términos alternativos
Sistemas de gestión de servicios básicos o Smart Cities	"Basic services management systems" OR "Services in Smart Cities"
Procesamiento de eventos complejos	"Complex event processing" OR "CEP"
Servicios Web	"Web Service" OR Res
Prototipos servicios básicos	"Prototip basic services" OR "Hardware for basic services"

## Revisión Sistemática de la Literatura (SLR)

Término principal	Términos alternativos
Consumo de agua IoT OR consumo de energía IoT	"IoT water consuming" OR "IoT energy consuming"
Procesamiento de eventos complejos OR LoRa Or Protocolos	"Complex event processing" OR "Protocol" "LoRa"
Pruebas de rendimiento	"Benchmark" OR "Rest"

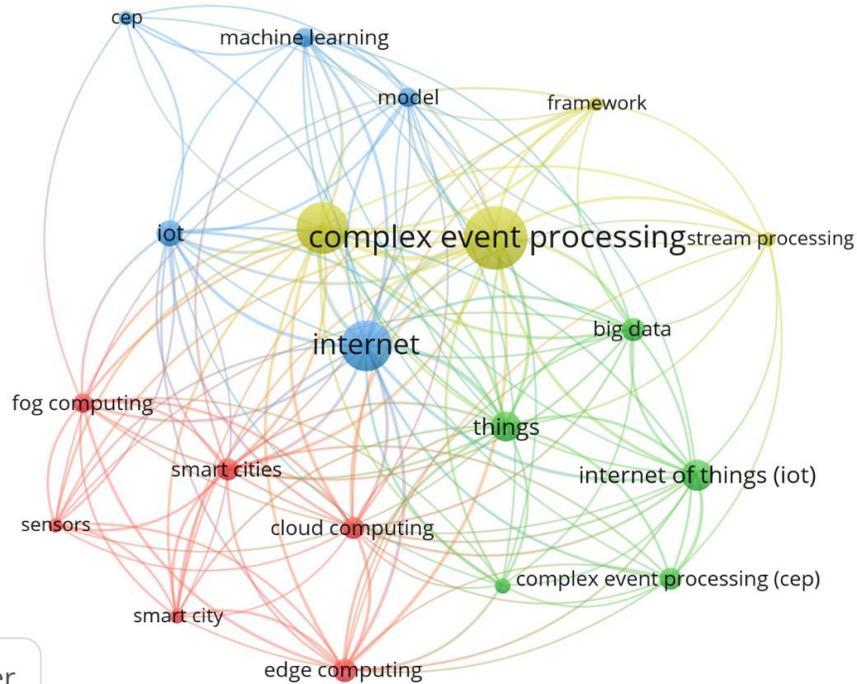


# Introducción

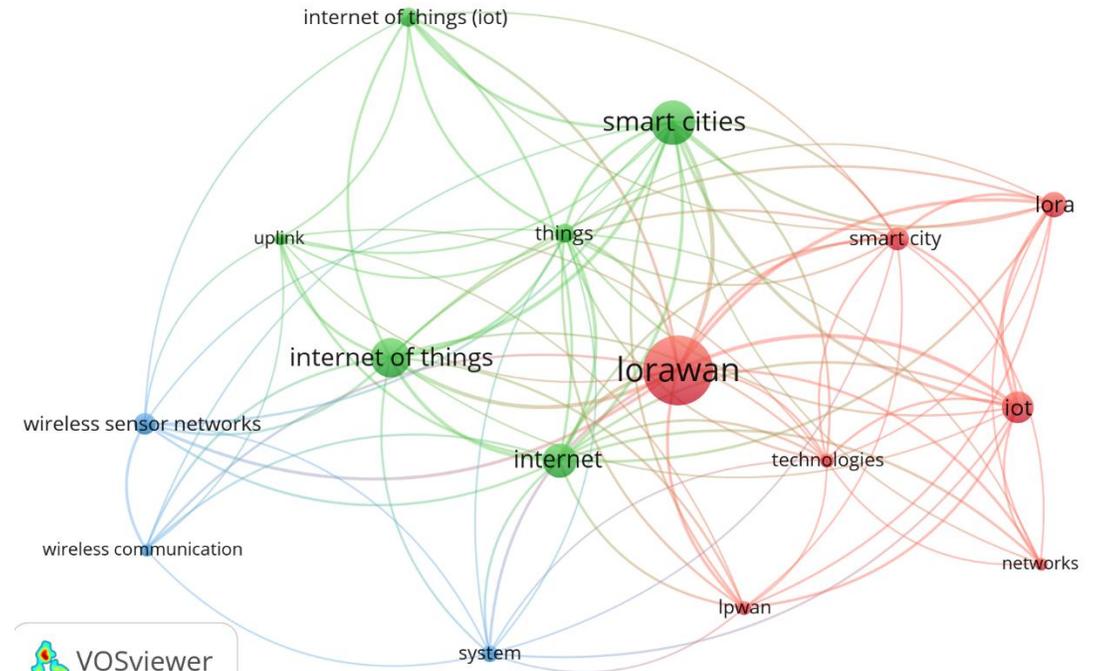
Estudios realizados



## Mapeo Sistemático de la Literatura (SMS)



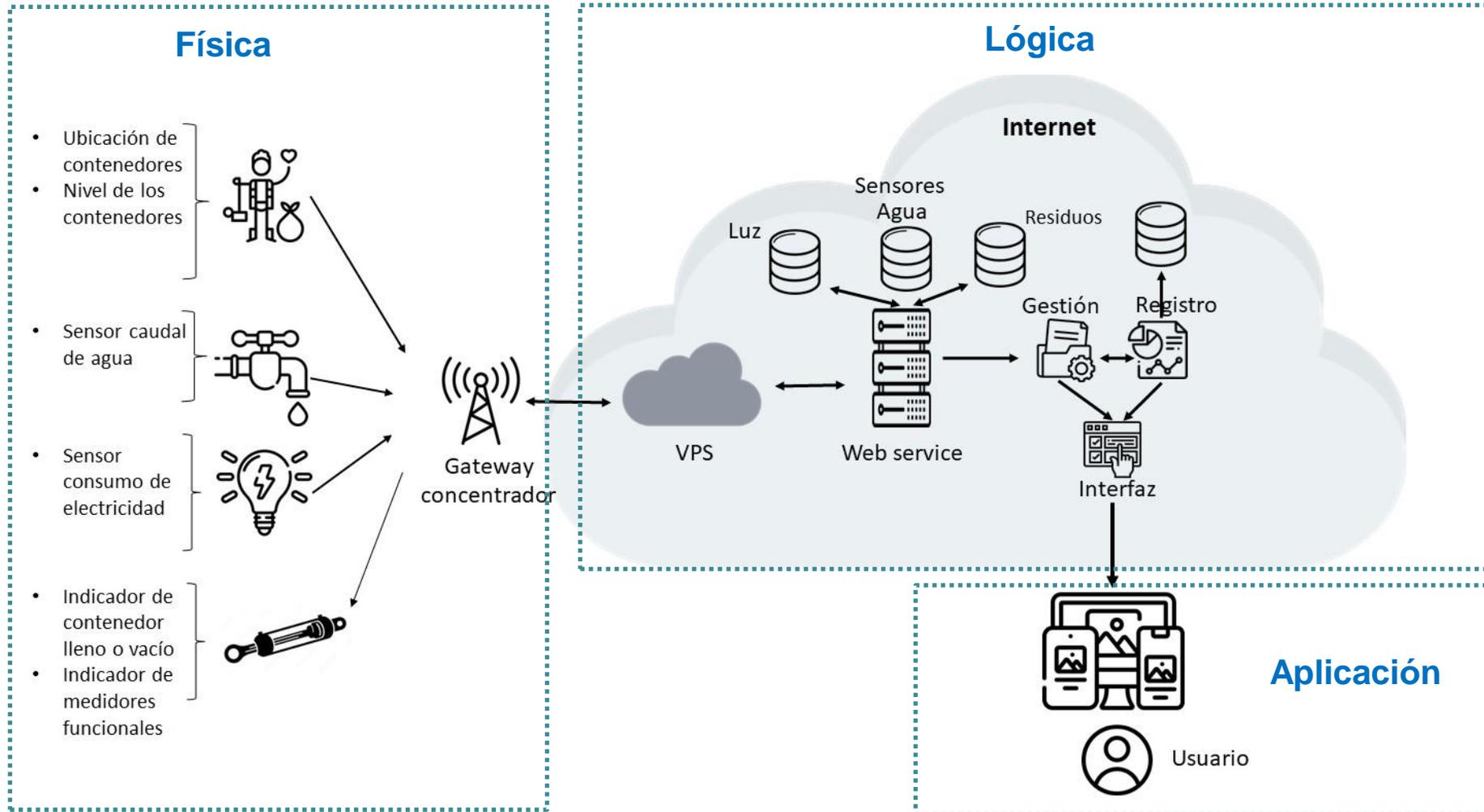
## Revisión Sistemático de la Literatura (LSR)



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

# Introducción

## Alcance



# Objetivos

## Objetivo General

Diseñar e implementar un prototipo de sistema de gestión de servicios básicos para ciudades inteligentes basado en procesamiento de eventos complejos.

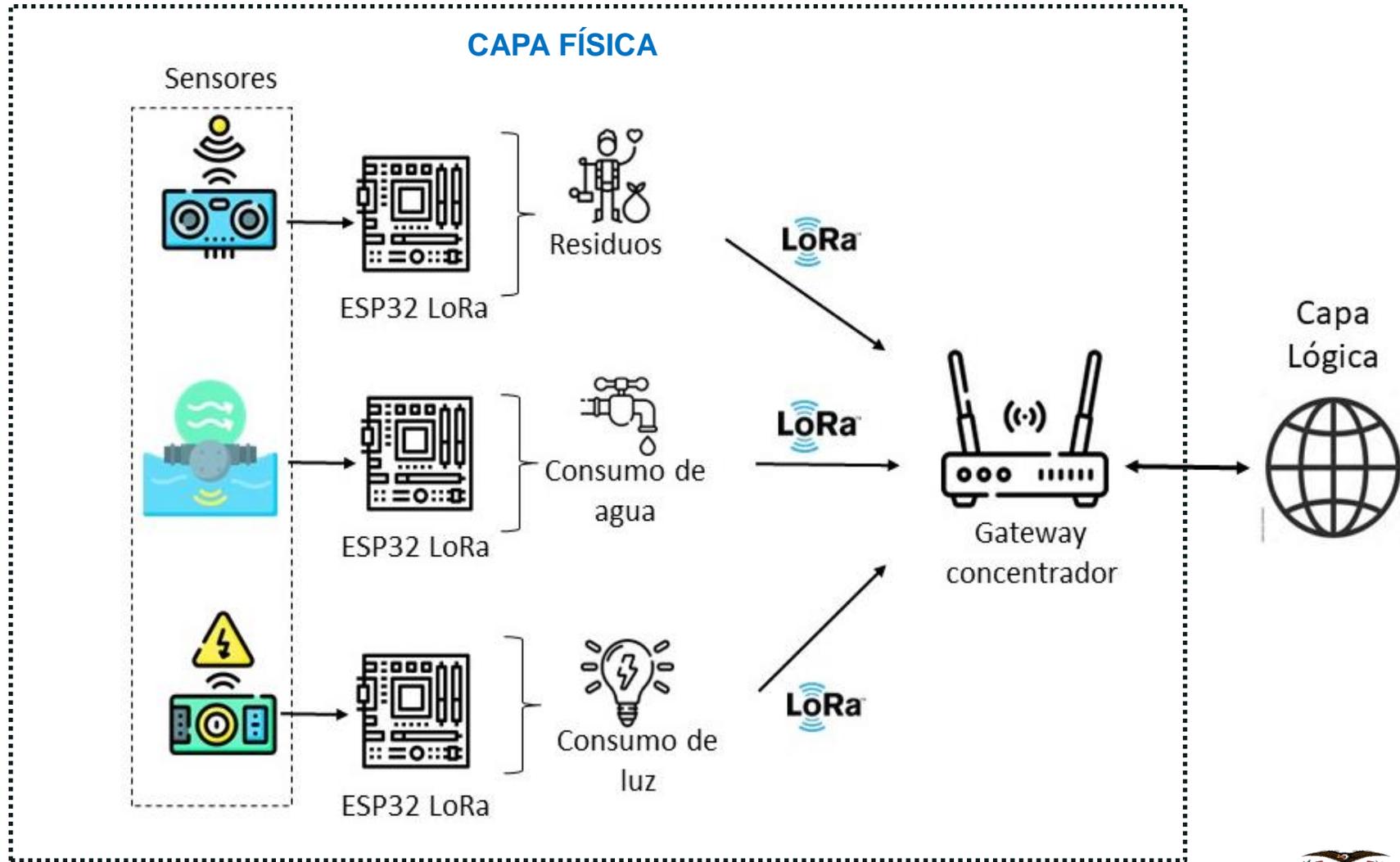
## Objetivos Específicos

- Investigar los conceptos teóricos de: Web service, Procesamiento de eventos complejos, Smart City, Redes LPWAN.
- Diseñar una arquitectura escalable para la gestión de los servicios de una ciudad inteligente.
- Procesar los eventos complejos para conseguir una respuesta eficiente del sistema mediante una lógica de control.
- Diseñar un prototipo de hardware para monitorizar la energía eléctrica, uno de agua potable y uno de recolección de residuos, con capacidades de conexión a una red Lora.
- Evaluar el funcionamiento del hardware, usabilidad de la interfaz y rendimiento del sistema, mediante una maqueta, pruebas de usabilidad y pruebas de carga.



# Diseño

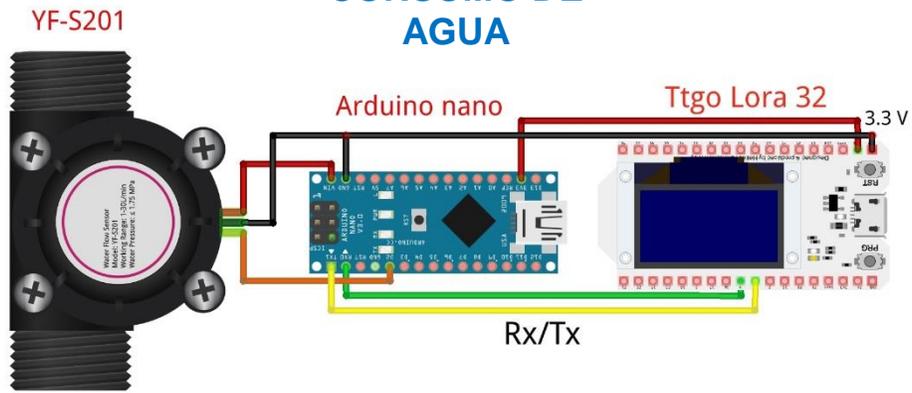
## Capa Física



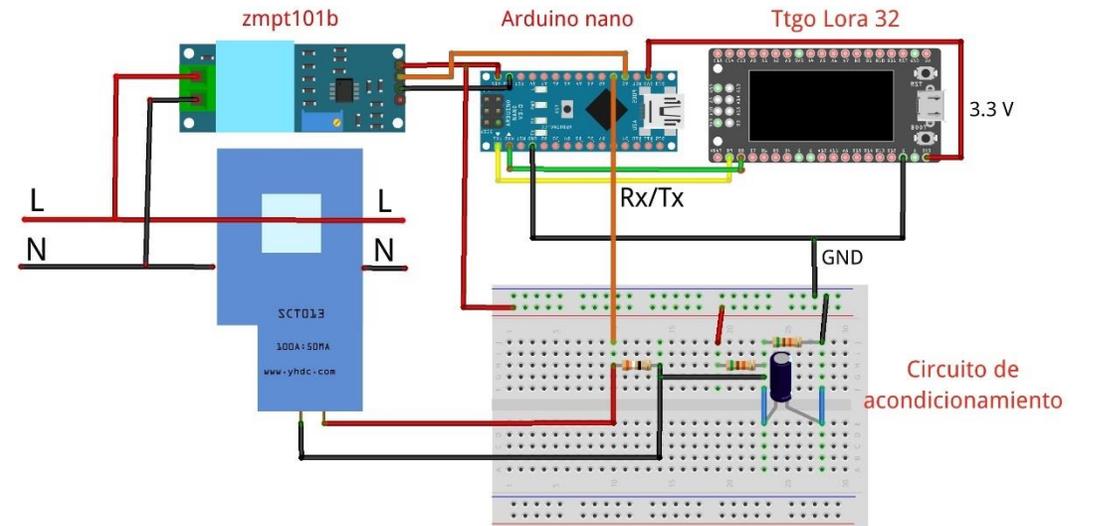
# Diseño

## Capa Física

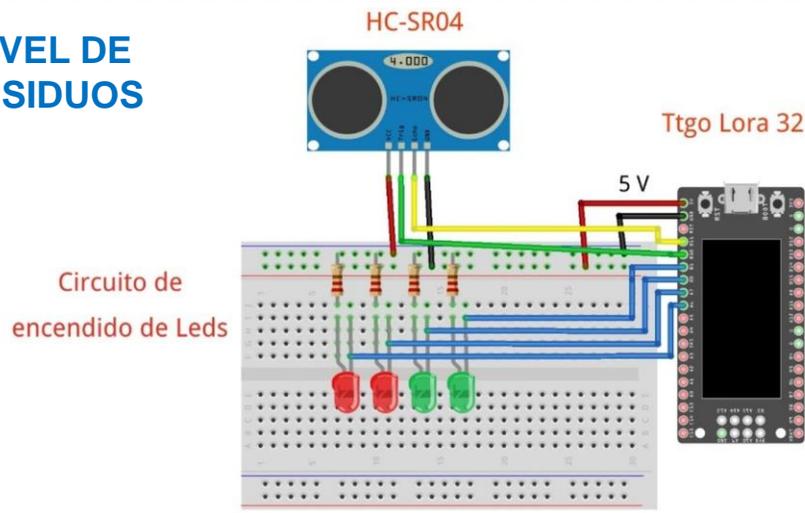
### CONSUMO DE AGUA



### CONSUMO DE ELECTRICIDAD

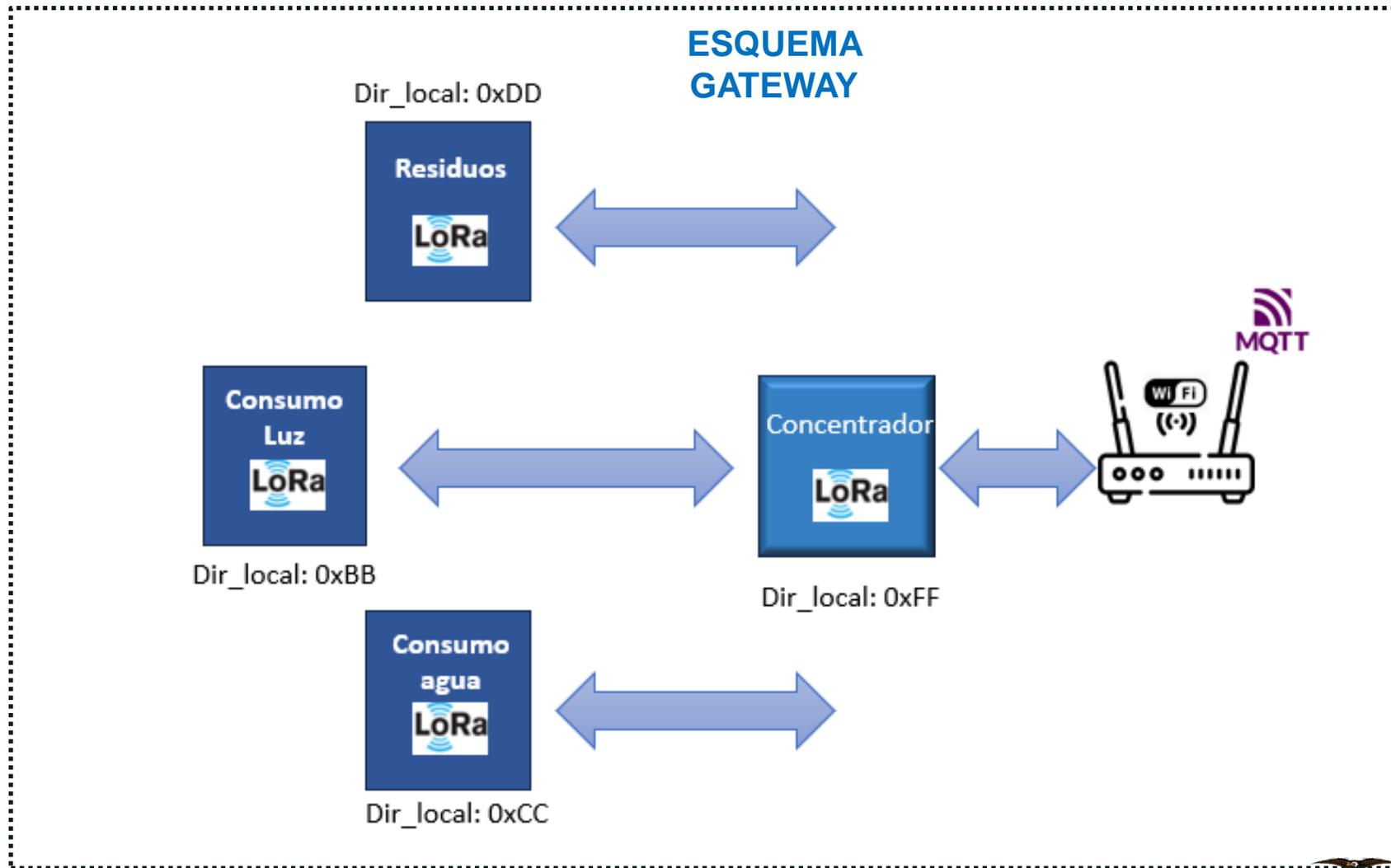


### NIVEL DE RESIDUOS



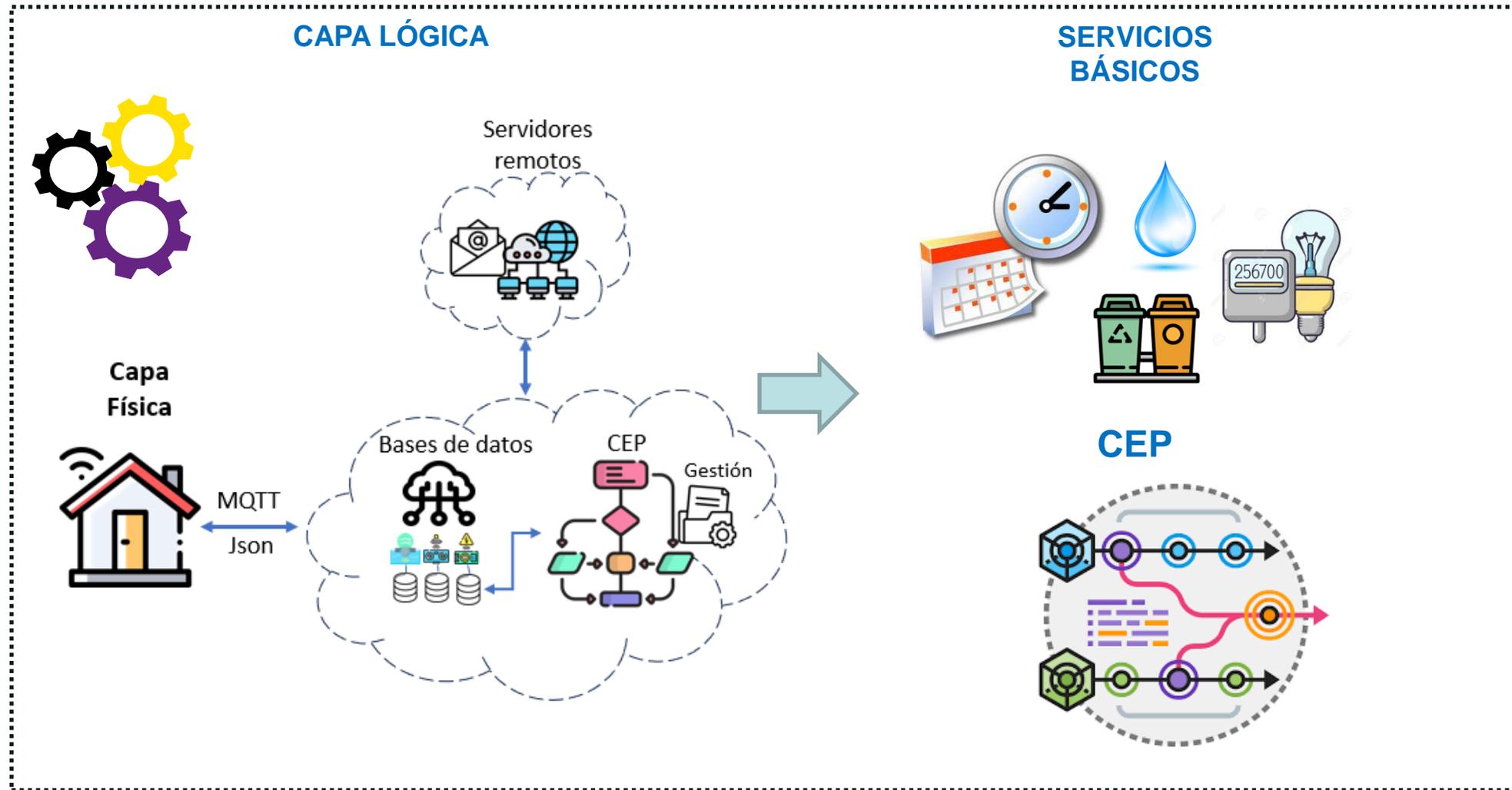
# Diseño

## Capa Física



# Diseño

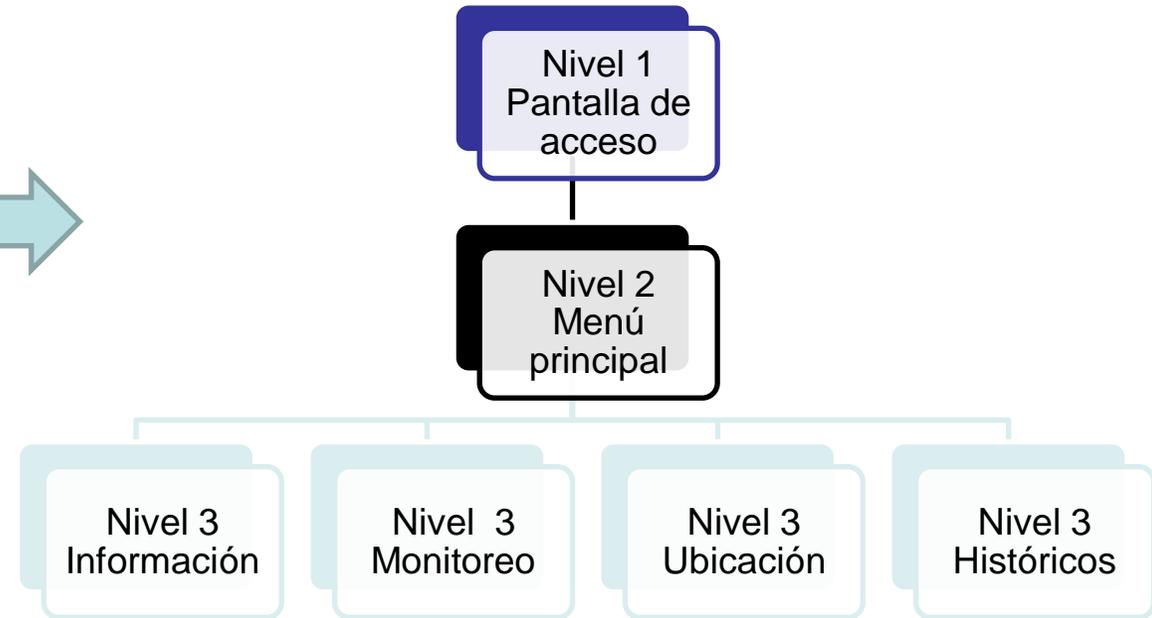
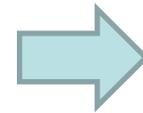
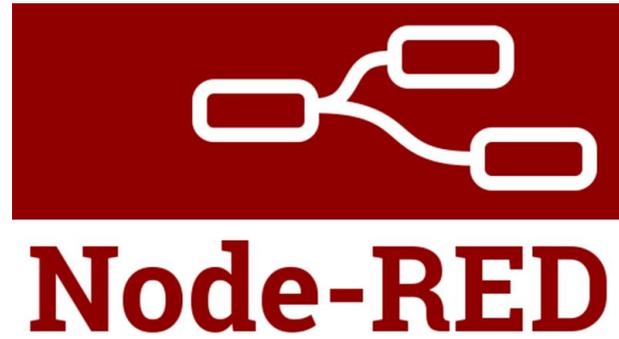
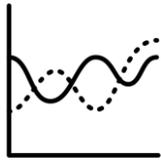
## Capa Lógica



# Diseño

## Capa de Aplicación

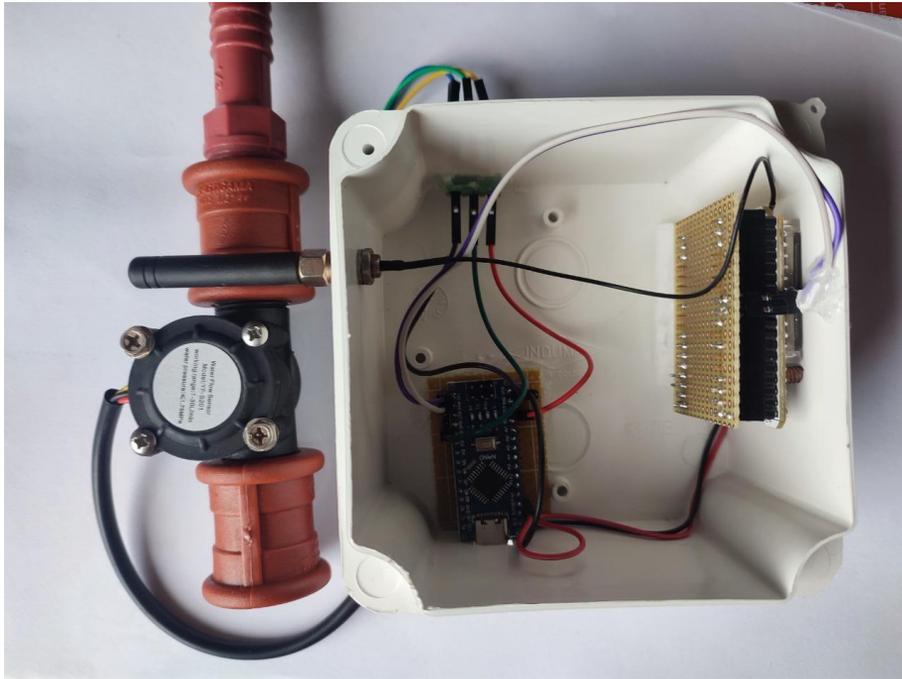
### CAPA DE APLICACIÓN



# Implementación

## Capa Física

### PROTOTIPO CONSUMO DE AGUA



Interior



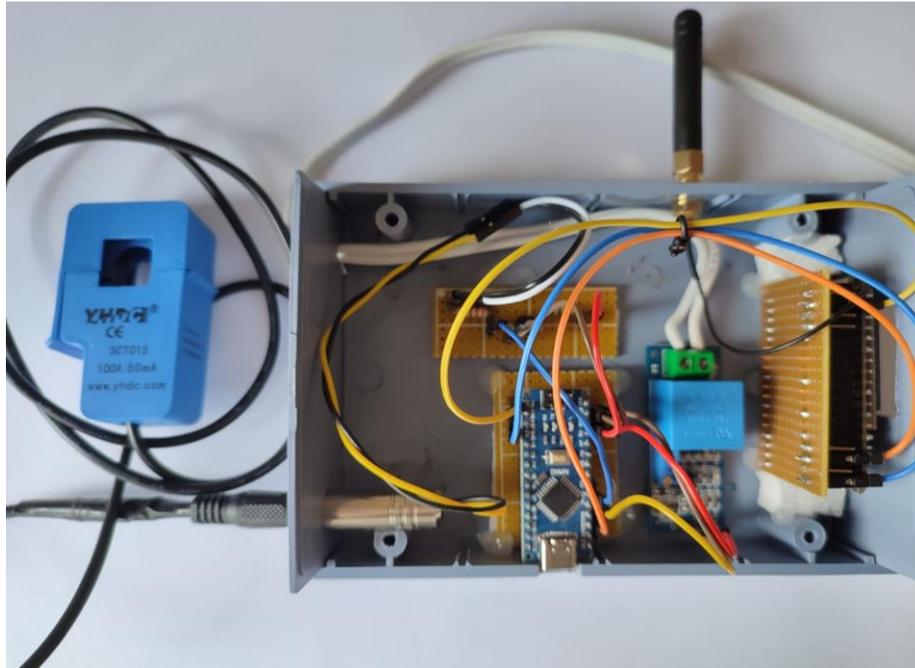
Exterior



# Implementación

Capa Física

## PROTOTIPO CONSUMO DE ELECTRICIDAD



Interior



Exterior

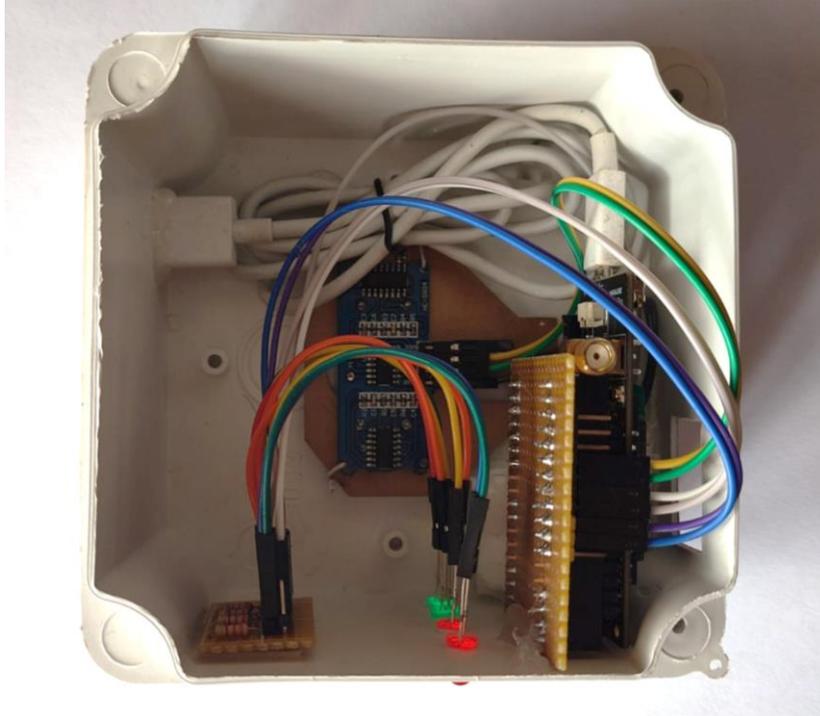


**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

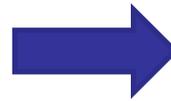
# Implementación

Capa Física

## PROTOTIPO NIVEL DE RESIDUOS



Interior



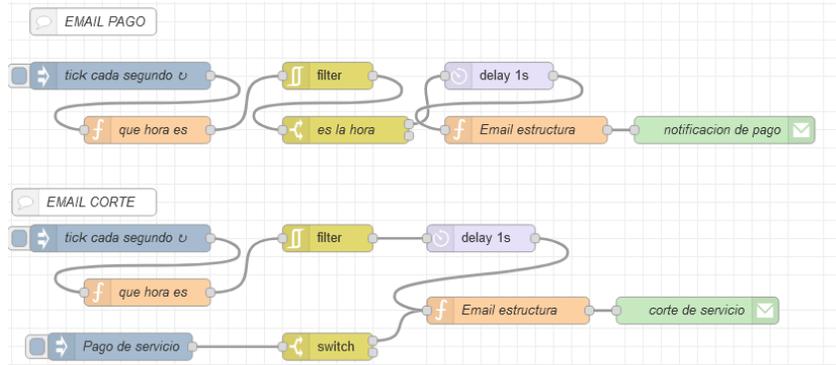
Exterior



# Implementación

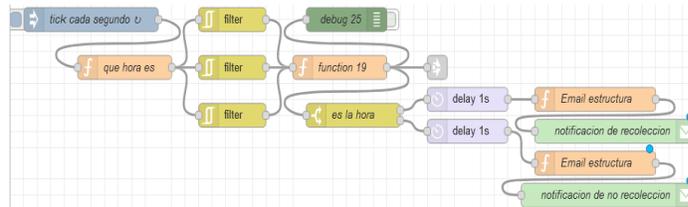
## Capa Lógica

CEP



Properties panel for function 18:

```
1 if(msg.payload > '14.75')
2
3 {
4   msg.payload='Tacho Vacío 0%';
5   msg.tach0 = 1;
6   msg.tach1 = 0;
7   msg.tach2 = 0;
8   msg.tach3 = 0;
9   msg.tach4 = 0;
10  flow.set("tach0", msg.tach0);
11  flow.set("tach1", msg.tach1);
12  flow.set("tach2", msg.tach2);
13  flow.set("tach3", msg.tach3);
14  flow.set("tach4", msg.tach4);
15  flow.set("nivel", msg.payload);
16  msg.payload=false;
17  msg.payload2=false;
18  msg.payload3=false;
19  msg.payload4=false;
}
```



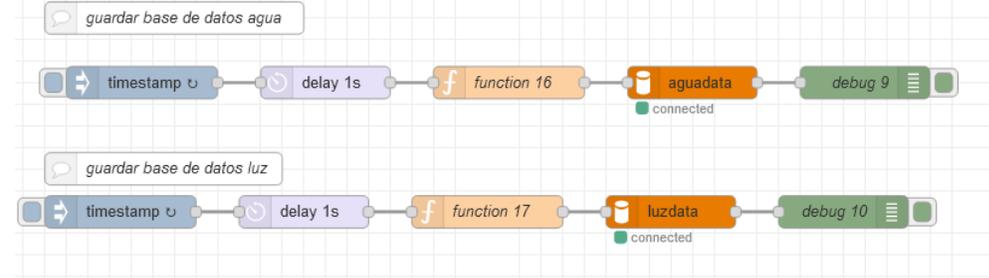
Properties panel for function 19:

```
1 var distancia = flow.get("distancia");
2 if ((msg.dia == '1' && msg.dia <= '5') && (msg.hora == '23') && (distancia > 10))
3 {
4   msg.payload=1;
5 }
6 else {
7   msg.payload=0;
8 }
9
10
11 return msg;
```

Base de Datos



#	Nombre	Tipo	Cotejamiento	Atributos	Nulo	Predeterminado	Comentarios
1	id	int(11)			No	Ninguna	
2	fecha	timestamp			No	current_timestamp()	
3	caudal	float			No	Ninguna	
4	volumen	float			No	Ninguna	
5	consumoagua	float			No	Ninguna	

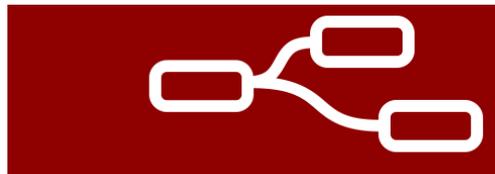
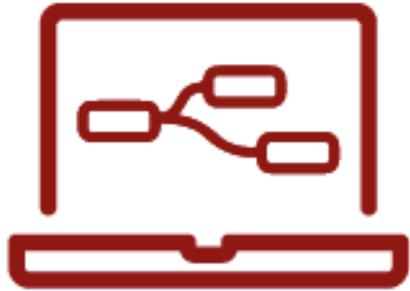


**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

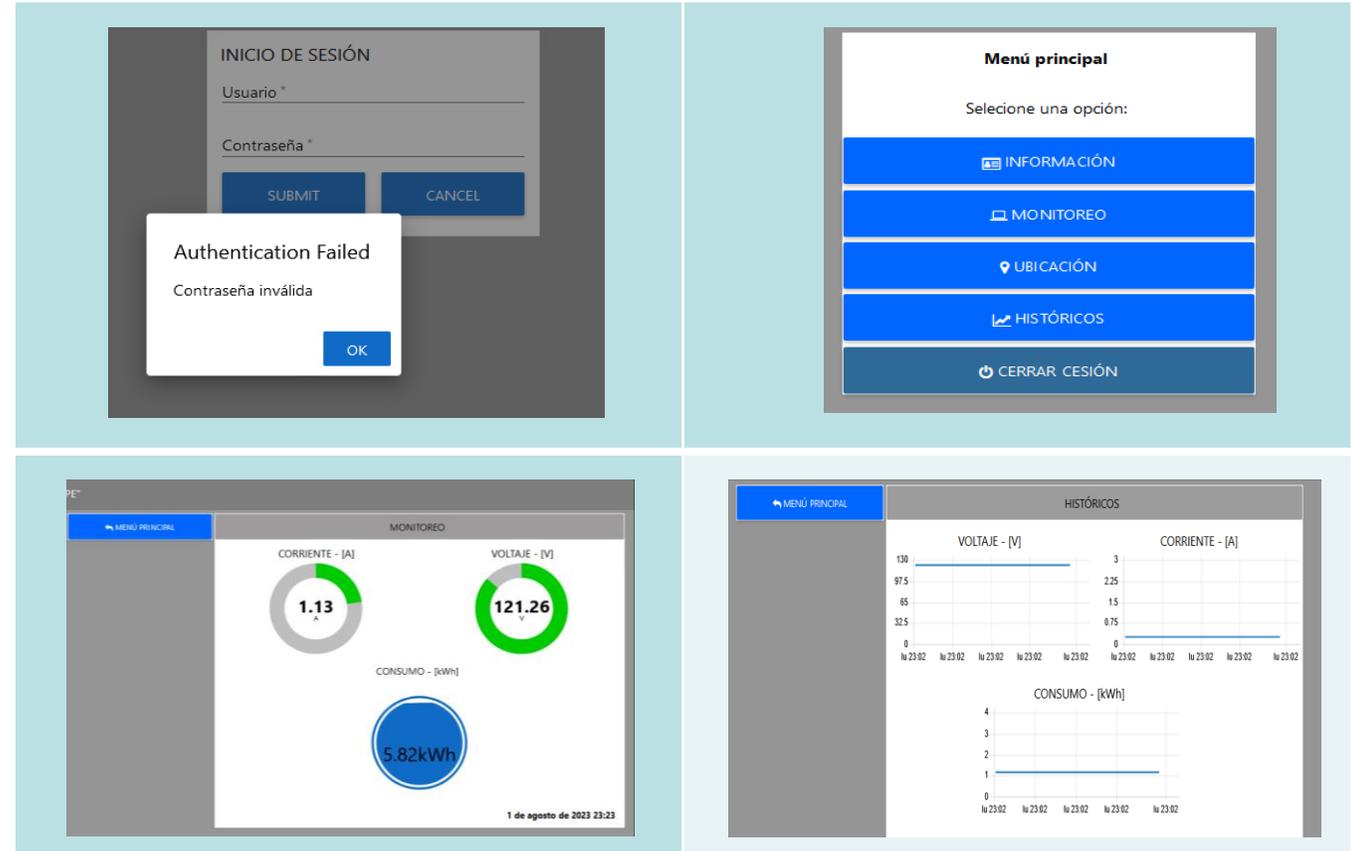
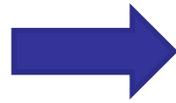
# Implementación

## Capa de Aplicación

Node-red



**Node-RED**



The application interface consists of several screens:

- INICIO DE SESIÓN (Login):** A form with fields for 'Usuario' and 'Contraseña', and buttons for 'SUBMIT' and 'CANCEL'. An 'Authentication Failed' dialog box is shown with the message 'Contraseña inválida' and an 'OK' button.
- Menú principal (Main Menu):** A screen titled 'Menú principal' with the instruction 'Seleccione una opción:' and five menu items: 'INFORMACIÓN', 'MONITOREO', 'UBICACIÓN', 'HISTÓRICOS', and 'CERRAR SESIÓN'.
- MONITOREO (Monitoring):** A dashboard showing three circular gauges: 'CORRIENTE - [A]' with a value of 1.13, 'VOLTAJE - [V]' with a value of 121.26, and 'CONSUMO - [kWh]' with a value of 5.82kWh. The date '1 de agosto de 2023 23:23' is displayed at the bottom right.
- HISTÓRICOS (History):** A screen showing three line graphs: 'VOLTAJE - [V]', 'CORRIENTE - [A]', and 'CONSUMO - [kWh]' over a time period from 1st August 2023.



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

# Pruebas y Resultados

## Caso de estudio

The image shows a remote control session. On the left, a video window displays a physical model of an electrical system, possibly a smart home or industrial control system, with a stone-textured facade and several small lamps. The video is titled "e2eSoft iVCam" and shows a "Redmi Note 10 Pro Conectado" connection. Below the video, a taskbar shows icons for Arduino, Google Chrome, Microsoft Edge, AutoCAD Electrical 202..., HP Support Assistant, and OFI2 Grafic. On the right, a web browser window displays the "UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS" interface. The browser address bar shows "173.249.39.102:1880/ui/#/1/1?socketid=9UaR7QdGGiADe201AABf". The page content includes "MADAS 'ESPE'" and a login form with the text "Bienvenido al sistema de monitorización de energía eléctrica." and "INICIO DE SESIÓN". The login form has fields for "Usuario" and "Contraseña", and buttons for "SUBMIT" and "CANCEL".

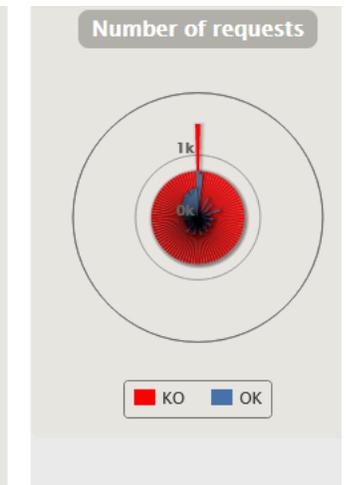
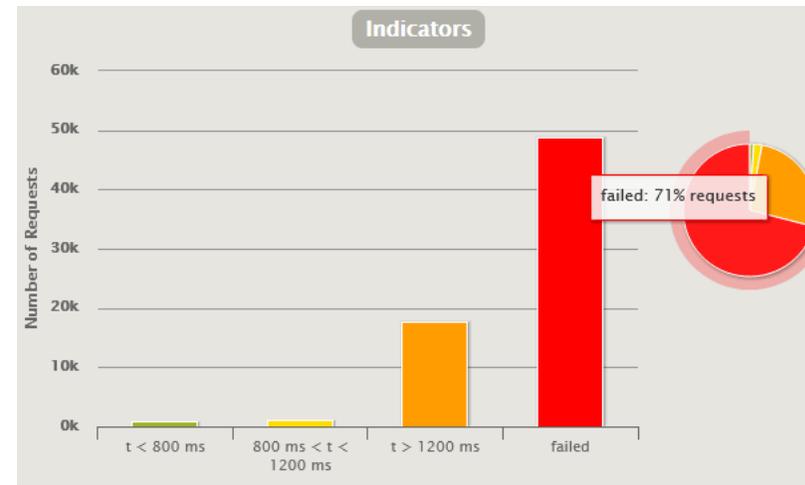
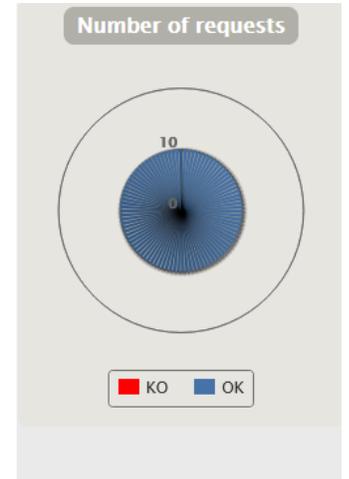
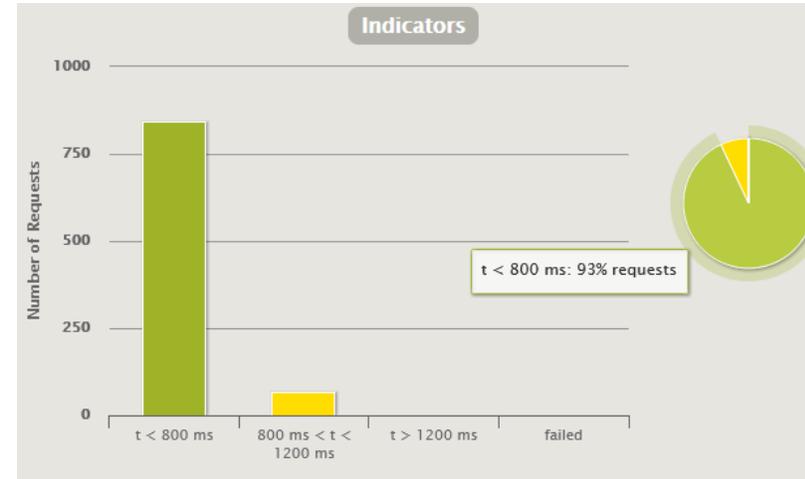


# Pruebas y Resultados

## Pruebas de Carga



Usuarios	Peticiones totales	Fallas [%]	Respuesta		
			t<800ms [%]	800 < t < 1200 ms [%]	t<1200ms [%]
10	910	0	93	7	0
50	4550	0	55	29	16
100	9100	0	17	39	45
200	18200	4	8	19	69
500	26780	8	2	3	87
1000	3774	71	2	6	42



# Pruebas y Resultados

## Pruebas de Usabilidad

### Sistema de Escalas de Usabilidad (SUS)

Preguntas	
<b>Pregunta 1</b>	Creo que usaría esta aplicación frecuentemente
<b>Pregunta 2</b>	Encuentro esta aplicación innecesariamente complejo
<b>Pregunta 3</b>	Creo que la aplicación fue fácil de usar
<b>Pregunta 4</b>	Creo que necesitaría ayuda de una persona con conocimientos técnicos para usar esta aplicación
<b>Pregunta 5</b>	Las funciones de esta aplicación están bien integradas
<b>Pregunta 6</b>	Creo que la aplicación es muy inconsistente
<b>Pregunta 7</b>	Imagino que la mayoría de la gente aprendería a usar esta aplicación en forma muy rápida
<b>Pregunta 8</b>	Encuentro que la aplicación es muy difícil de usar
<b>Pregunta 9</b>	Me siento confiado al usar esta aplicación
<b>Pregunta 10</b>	Necesité aprender muchas cosas antes de ser capaz de usar esta aplicación

Preguntas Usuarios	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	Puntaje SUS
<b>U1</b>	5	2	5	1	5	1	4	1	4	1	92.5
<b>U2</b>	4	1	5	2	5	2	5	1	4	2	82,5
<b>U3</b>	5	1	5	2	5	2	4	1	4	1	95
<b>U4</b>	5	1	4	2	4	1	4	2	5	1	87,5
<b>U5</b>	5	1	5	2	5	1	4	1	4	2	90
<b>U6</b>	5	1	4	3	4	1	5	1	4	1	87,5
<b>U7</b>	4	1	3	1	3	1	5	1	4	1	85
<b>U8</b>	4	2	5	3	5	1	4	2	5	1	85
<b>U9</b>	3	2	5	1	4	1	5	1	5	1	90
<b>U10</b>	4	1	5	1	3	1	5	1	5	1	92.5
<b>Promedio</b>											<b>88,75</b>



# Conclusiones y Trabajos Futuros

## Conclusiones

El lenguaje de programación java permitió la implementación del procesamiento de eventos complejos, protocolos de comunicación y transmisión de datos entre las distintas capas del sistema de gestión de servicios básicos con lo que permite la creación de patrones de eventos complejos a partir de nodos function, operadores y nodos switch para el direccionamiento de los datos en el envío de notificaciones para servicios externos como el correo electrónico.

Mediante el protocolo MQTT se logra comunicar la capa física con la capa lógica utilizando el broker de mensajería Mosquitto con un tiempo de respuesta pequeño ya que MQTT cuando establece una conexión la mantiene abierta y se puede reutilizar siempre que sea necesario. Además, el envío de los datos en formato Json desde el gateway hacia el broker Mosquitto nos permite estructurar los datos de mejor manera ocupando poco espacio de memoria, mejorando la agilidad en el procesamiento y la velocidad en el tráfico de red.



# Conclusiones y Trabajos Futuros

## Conclusiones

De acuerdo con el trabajo investigativo realizado sobre herramientas y tecnologías permitió el diseño y la implementación de una arquitectura basada en el procesamiento de eventos complejos para el monitoreo de los servicios básicos en una ciudad inteligente en la cual se logró implementar una arquitectura de software confiable que se encuentra alojado en un servidor privado en la nube y que se puede acceder desde cualquier parte del mundo.

Como resultado de la elaboración de la arquitectura del sistema se utiliza la tecnología de redes definidas por software ya que los prototipos únicamente son los encargados de medir o detectar algún cambio de las magnitudes físicas en el entorno y no es necesario programar cada prototipo manualmente para realizar algún cambio en el sistema, sino que se puede programar el controlador central ubicado en la nube para así ofrecer más funcionalidades o mejoras en el sistema a futuro.

Mediante la implementación de la arquitectura basada en el procesamiento de eventos complejos en Node-Red permitió analizar en tiempo real cada uno de los prototipos, no únicamente desplegando la información de las variables sino tomando más de un evento a la vez como la hora, el día, la fecha y el valor de cada variable para así dependiendo de cada uno de estos eventos tomar una decisión automáticamente sin la necesidad que un operario realice alguna acción con lo que logramos mejorar la eficiencia en el sistema.



# Conclusiones y Trabajos Futuros

## Conclusiones

El presente proyecto se llevó a cabo para diseñar prototipos pequeños, portables y económicos para el monitoreo de los servicios básicos como electricidad, agua potable y recolección de residuos por lo que a partir de la implementación de estos mediante comunicación LoRa multipunto se obtiene un gran alcance, un bajo consumo de energía y que permite su instalación en cualquier tipo de lugares. La utilización de un Esp32 Lora como gateway concentrador logra bajar considerablemente los costos del proyecto en un 30% además que el sistema sigue siendo escalable y se puede conectar muchos más nodos a este gateway concentrador.

El presente proyecto con los resultados en las pruebas de carga se concluye la robustez del sistema alojado en el VPS establece que se podría admitir sin problemas hasta menos de 500 usuarios al mismo tiempo ya que superando este valor habrá peticiones fallidas y tiempos de respuesta altos, pero esto no es un gran problema debido a que la cantidad de datos que se envíen simultáneamente no serán tan elevados.

A partir de las pruebas de usabilidad mediante el sistema de escala SUS los puntajes obtenidos fueron de 88.75 sobre 100 con lo que se puede concluir que el sistema es amigable hasta para usuarios independientemente de conocimientos técnicos.



# Conclusiones y Trabajos Futuros

## Trabajos Futuros

El gateway concentrador debe ser colocado en una caja dependiendo donde se lo vaya a instalar para protegerlo frente al agua y polvo.

Implementar protocolos de seguridad para los datos recopilados por los prototipos puesto que en la nube se encuentran expuestos a robos para con esto lograr confidencialidad de la información.

Implementar actuadores en los prototipos de consumo de agua o electricidad para que se pueda realizar el corte del servicio de forma remota además de colocar baterías externas en el prototipo de consumo de agua para que funcione en el caso de un corte de servicio eléctrico.

Realizar un sistema de facturación y contabilidad para que pueda ser complementado con este sistema de monitoreo para llevar un mejor control de los valores a pagar.

Utilizar una plataforma dedicada para IoT en la creación de HMI o Dashboard como Ubidots, Blink o AWS IoT para que pueda brindar más funcionalidades a los usuarios.



***GRACIAS!***



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