

# CONTROL TÉRMICO EN EL TRANSPORTE DE VACUNAS, USANDO TECNOLOGÍA IOT



## AUTOR

DANIEL ANDRES PEÑA CORTES

Artículo de la ponencia resultado del Semillero de Investigación presentado como requisito para optar al título de:

**INGENIERO INFORMATICO**

Director semillero LIPEX:

**JOSE ARTURO LAGOS**

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA**

**FACULTAD DE ESTUDIOS A DISTANCIA**

**PROGRAMA INGENIERIA INFORMATICA**

**BOGOTÁ, 10 FEBRERO 2022**

# **Control térmico en el transporte de vacunas, usando tecnología IoT**

## **Thermal control in vaccine transport, using IoT technology**

**RESUMEN**-El presente documento se deriva del proyecto PIC-DIS-3302 de la Universidad Militar Nueva Granada, que tenía como propósito el desarrollo de un sistema informático empleado como herramienta para almacenar y consultar datos en tiempo real de las variables de temperatura y humedad para el monitoreo de las cadenas de frío en el transporte, conservación y manipulación de vacunas, que emplean las misiones médicas en diferentes lugares del territorio colombiano. A continuación, se buscó ilustrar como a partir del uso de las tecnologías y programación informática se brinda una solución a una necesidad en el sector Salud.

**PALABRAS CLAVE:** Control térmico, Raspberry pi4, Servidor Apache, IoT, Vacunas

**ABSTRACT**-The purpose of this project is to develop a computer system used as a tool to store, consult data in real time of the variables of temperature and humidity for the monitoring of the cold chains in the transport, conservation and handling of vaccines that use the medical missions in different places of the Colombian territory. The article describes the procedures used in theoretical computing with the aim of using emerging technologies to provide a solution on an adequate technological base.

**KEYWORDS:** Termal control, Raspberry pi4, Apache server, IoT, Vaccíneas.

### **1. INTRODUCCIÓN**

La vacunación dentro del contexto de la salud pública y en este caso sanidad militar, resulta una de las principales medidas de prevención, teniendo en cuenta los cambios a los que están expuestos los miembros de la fuerza, siendo esta una herramienta eficaz para evitar la aparición y propagación de determinadas enfermedades transmisibles, tanto en el individuo como en la colectividad. Las vacunas tienen la facultad de proteger individual y socialmente, cuando las coberturas son altas o se vacuna a más del 95 % de una comunidad, se conoce como “vacunación de rebaño”, protegiendo a la colectividad evitando o disminuyendo el riesgo de epidemias, protegiendo indirectamente también a los no vacunados, y contribuyendo a la erradicación de enfermedades o disminuyendo el riesgo de posibles pandemias, como las actuales (Ministerio de Salud, 2020).

La monitorización de la temperatura y la humedad del transporte de material biológico referente a vacunas resulta vital, ya que sus componentes pueden verse inactivados o inefectivos al descuidar los cambios bruscos en dichas medidas, afectando no solo su efectividad, si no los posibles efectos secundarios generados en quien la reciba (Vacunasaep.org, 2020).

El presente proyecto tiene como propósito el desarrollo de un sistema informático y el diseño del prototipo electrónico de un Raspberry Pi 4 empleado como herramienta para almacenar, consultar datos en un servidor con una arquitectura GLAMP (GNU/Linux, Apache, MySQL® y Python ) y en tiempo real de las variables de temperatura y humedad para la motorización de las cadenas de frío en el transporte, conservación y manipulación de vacunas que emplean las misiones médicas en diferentes lugares del territorio colombiano.

## **2. ANTECEDENTES**

De acuerdo con cifras de la Organización Mundial de la Salud, las vacunas evitan entre dos y tres millones de muertes al año, al proveer protección contra enfermedades como la difteria, sarampión, neumonía, rotavirus, rubeola, tétanos y polio, un ejemplo actual, la carrera de grandes laboratorios y farmacéuticas a nivel mundial por innovar con una vacuna para contrarrestar o disminuir los efectos del Sars Cov-2, conocido “Corona Virus O Covid 19” entre otros.

Quizá una de las vacunas más ansiada en la actualidad para obtener la “inmunidad al menos temporal la del Sars Cov-2 ”, el subdirector de la Organización Panamericana de la Salud (OPS), el doctor Jarbas Barbosa afirma que “Ningún sistema de salud en el Caribe, en América del Sur, en los Estados Unidos, en Europa están listos para manejar estas vacunas porque para ello se necesita tener un almacenamiento a  $-70^{\circ}\text{C}$ ” (Noticias ONU, 2020), lo que pone en evidencia una vez más la necesidad del monitoreo de las temperaturas y humedad, no obstante, cerca de 22 millones de niños en todo el mundo no están vacunados y los retos por una mayor cobertura persisten, con sus diferencias entre países en desarrollo y países desarrollados (Metalinspect.blog, 2019), de allí se destaca la importancia de esta estrategia de promoción de la salud y prevención de la enfermedad, sin embargo no solo se trata de garantizar el acceso a dichas vacunas, tiene que ver también con el mantenimiento de la cadena de frío en todo el proceso de transporte, conservación, manipulación y almacenamiento, es fundamental para asegurar el éxito de la vacunación. Por lo cual se considera valioso el uso de las tecnologías IOT (Internet Of Things) para facilitar y hacer más eficiente estas estrategias para favorecer la salud pública (Carestream.com, 2019).

Resulta necesario enmarcar esta problemática del manejo de un ambiente físico y de mantenimiento del material biológico, teniendo en cuenta que el clima y sus variables también influyen externamente en la conservación de las misma, incluso una nevera bien aislada se calentará el interior con mayor rapidez, la humedad también influye en las mismas refieren los autores de este artículo (Metalinspect.blog, 2019) la humedad tiene un efecto en el rendimiento frigorífico; esto se da porque la humedad en el aire transporta el calor mejor que el propio aire.

Los riesgos de los cambios en la temperatura de la vacunación oscilan entre la pérdida de la capacidad inmunizante la cual es acumulativa, irreversible y se incrementa con el tiempo de exposición y la posibilidad efectos adversos en la salud física del vacunado; en lugares como España la temperatura ideal de conservación de las vacunas existentes esta entre +2 °C y +8 °C. (Vacunasaep.org, 2020). Los deben ser muy estrictos los controles de temperatura, los cuales tienen la propiedad de comprobar el funcionamiento correcto de las cadenas de almacenamiento fija y móvil.

Según Velarde Rosso (2017), las fallas en la manipulación de los preparados que se presentaron en algunos casos como: la Antigua Unión Soviética en 1990, generan una problemática que puede ser contrarrestada con programas de inmunización sistemática que dependen en gran medida del correcto mantenimiento y manipulación de las vacunas, por esta razón es un objetivo del personal médico evitar esas fallas en manipulación y la no conservación de la cadena de frío y para conservar la inmunogenicidad (Velarde, 2017) (la capacidad que tiene un antígeno de activar el sistema inmunitario e inducir una respuesta inmune).

Teniendo en cuenta esta necesidad de mantener la cadena de frío en el transporte de las vacunas, algunos laboratorios emplean dispositivos como el Wifi Wireless Thermometer Data Logger Modelo THR5W-E desarrollado por PproTECH en el 2012; siendo un dispositivo portable y los desarrolladores en el propósito de mejorar el funcionamiento emplean una red LAN (local Area Network), logrando enviar los datos en una red local a un mediante una interfaz de aplicaciones las variables de temperatura y humedad con el fin de ser almacenados en una memoria interna, una de las funcionalidades del software es que se puede exportar los datos para análisis posterior y permite al usuario programar rangos de alerta (PProtech, 2020).

## **2.1. Cadena De Frío**

Se denomina cadena de frío a un proceso organizado de distribución, transporte, manipulación, conservación y almacenamiento en condiciones óptimas de luz y temperatura, garantizando en todo momento la inmunogenicidad y la eficacia protectora de las vacunas, desde que se produce la salida

del laboratorio fabricante hasta el momento de la administración de la vacuna a los pacientes (AEP, 2019).

Las familias de temperatura de almacenaje más utilizadas son:

- Temperatura ambiente (zonas climáticas).
- Fresco: 8°C a 15°C. Refrigerado: 2°C a 8°C. No congelar: > 0°C. Congelado: < -20°C. Congelación criogénica: -70 o -180°C.4.

Dentro de los procesos de cadena de frío se pueden tener en cuenta según ilustra Úrsula Vértiz Combe de Salud y Logística S.A, (Vertiz, 2011) menciona en su artículo, que deben existir buenas prácticas en todo el proceso, cumpliendo con la verificación de la temperatura del producto, al igual que controlar el proceso mediante la utilización de un sistema electrónico, semiautomático o manual, en el que se puedan identificar fácilmente las medicinas, el control de la refrigeración teniendo en cuenta que es un material sensible y puede perder propiedades, se reconoce la importancia de contar con Software de control y monitoreo de equipos sobre la base de la norma CFR21 de la FDA (a norma final 21 CFR parte 11, dictada por la FDA (administración de alimentos y medicamentos estadounidense) en 1997, trata de permitir el mayor uso posible de tecnología electrónica (Eurotherm, 2019), por lo cual se destaca la importancia del uso de sistemas de alarmas para prevención de eventos críticos tales como: alarma sonora, alarma conectada a la vigilancia y equipo técnico responsable.

Contemplar sistemas de alarmas sonoras y visuales, locales y remotas (reporte vía celular, correo electrónico, software, etcétera) para detectar salidas del rango de temperatura o fallas en el funcionamiento de algunos de los componentes del sistema, las alarmas deben contemplar no solo temas relacionados con las variaciones de temperatura, alarma de señal eléctrica de las conexiones del equipamiento, para que si el equipo de refrigeración falla, se pueda alternar con un equipo backup, Instalar registradores continuos de temperatura (24 horas/7 días) en lugares de fácil acceso para el monitoreo de la temperatura del cuarto, entre otras características y variables a tener en cuenta (Vertiz, 2011).

## **2.2. De acuerdo con la normatividad vigente del DGSM se puede decir que:**

Los programas de vacunación en las Fuerzas Armadas son de alta prioridad debido a las condiciones particulares de desplazamiento, el constante cambio de regiones con características epidemiológicas propias, la residencia en campamentos y guarniciones, bajo difíciles condiciones de hacinamiento, inadecuada alimentación y acceso a agua potable mientras están en campaña, y la frecuencia elevada de brotes de enfermedades infecciosas como hepatitis A, hepatitis b, varicela,

enfermedades respiratorias con sus correspondientes complicaciones, o por enfermedades como las meningitis y la fiebre tifoidea (Sierra, 2012) .

Estas enfermedades tienen un fuerte impacto en la institución por las incapacidades, especialmente durante los brotes epidémicos, los altos costos de atención médica y hospitalización, las dificultades operativas y los costos incurridos para el control de brotes, y el riesgo de convertirse en un portador temporal con diseminación hacia el grupo de campaña y/o a su grupo familiar. Adicionalmente con la gran movilidad por el territorio nacional podrían cambiar el perfil epidemiológico de algunas inmunoprevenibles en regiones de baja incidencia.

De acuerdo con la Dirección General de Sanidad Militar, en cumplimiento a los artículos 27 y 34 del decreto Ley 1795 del 2000 y de los Acuerdos 002 y 014 del 2001, aprobados por el CSSMP, referentes a lineamientos y políticas de promoción y prevención para el SSMP y al Plan de Servicios de Sanidad Militar y Policial, para el personal de afiliados y beneficiarios del SSMP, que contempla la atención integral en Promoción, Prevención, Protección, Recuperación y Rehabilitación, ha considerado la necesidad de diseñar unos lineamientos del documento marco vacunación del SSFM.

Los condicionantes de la vida militar, tanto en territorio nacional, como en misiones en el exterior, exponen al personal militar a diversas enfermedades que pueden prevenirse con la vacunación. Por ello, los planes deberán ser ajustados de acuerdo con las necesidades, los riesgos propios de la población, por la aparición de nuevas vacunas o por cambios en determinadas enfermedades infecciosas o la aparición de nuevos brotes epidémicos, y riesgos sanitarios (Ejército, 2020).

### **2.3. Soldados Regulares Y Personal Expuesto A Operaciones En Alta Montaña**

Los soldados que se incorporan durante el año en las diferentes Fuerzas, con procedencias diferentes, pueden presentar riesgos para diferentes enfermedades o ingresar como portadores de las mismas, dadas las condiciones económicas, sociales, ambientales y epidemiológicas en las que vivían y a las que se exponen en los primeros meses posteriores a su ingreso a la Institución Militar, hace que se priorice la aplicación de determinados biológicos que básicamente los cubrirán de los riesgos operacionales y ocupacionales, entre otros se recomiendan: Toxoide Tetánico y Diftérico, Fiebre Amarilla, esquema que se aplica a los soldados en el momento de la incorporación y a partir del 2011 se incluyó en este esquema Triple Viral debido a los brotes identificados de parotiditis en este grupo.

Considerando que las infecciones respiratorias son una de las causas más frecuentes de consulta, que el hacinamiento es un riesgo que facilita la presencia de esas infecciones y que hay grupos más vulnerables a presentarlas y a complicarse debido a cambios especiales en sus sitios de trabajo, se ha

priorizado a los batallones de montaña y a los uniformados que laboran en transporte aéreo y buzos, para ser tenidos en cuenta prioritariamente en la vacunación de influenza y neumococo.

#### **2.4. De la tecnología IOT**

La definición de este concepto, El Internet De Las Cosas, es tan amplio como diverso, en un mundo más contactado cobra importancia el entender que es un sistema emergente que se da transversalmente a procesos técnicos, sociales y económicos, sin embargo no existe una definición concreta y o universal, IOT hace referencia a la conectividad de redes y la capacidad de cómputo que se extiende a objetos de uso cotidiano, los cuales generan información, intercambian y consumen datos con un mínimo de interacción con los seres humanos. Es una herramienta que cambia continuamente que combina computadoras, sensores y controladores, generando tendencias como conectividad omnipresente, economía en la capacidad de cómputo, redes basadas en protocolo IP, la miniaturización y avances en el análisis de datos computación en la nube (Rose, Eldridge, & Chapin, 2020).

El internet de la cosas (IOT) utiliza para su implementación diferentes modelos de conectividad, con características individuales como lo son Device-to-device (dispositivo a dispositivo), Device-to-Cloud (dispositivo a la nube), Device-to-Gateway (dispositivo a puerta de enlace) y Back-End Data-Sharing (intercambio de datos a través del back-end); tecnología que tiene un potencial de transformación y que día a día trae desafíos ante la seguridad, la privacidad de los datos, las políticas y el marco jurídico que rige el uso de estas tecnologías (Rose, Eldridge, & Chapin, 2020).

#### **2.5. Tecnología IOT aplicable al control de temperatura y humedad**

Es pertinente reconocer que dentro de los aportes de las tecnologías en el ámbito industrial, comercial, salud, educativo, logístico y en general social, cada vez se hace más necesaria la instrumentalización, el diseño de dispositivos que sirven para medir, convertir y registrar variables de un proceso, y finalmente transmitir, evaluar y controlar, lo concerniente a características físicas, velocidad, temperatura o químicas, la medición y el control de estos distintos fenómenos son fundamentales para generar mejores resultados, garantizando la seguridad y eficacia.

La Utilización de tecnologías en proyectos como Sistema de control de variables de temperatura y humedad relativa para el laboratorio de agromática del SENA, a partir del diseño del aplicativo SICLA, que describen como un software de control elaborado con base a los requerimientos de un cultivo particular, diseñado en un lenguaje de fácil manejo para todo tipo de usuarios, para la cual instalaron un sensor RHT03 que les permite la lectura de las dos variables con un solo dispositivo, idea que no requiere de elementos adicionales para su puesta en funcionamiento (Cardenas, 2009).

La tecnología IOT, busca exponer el rol de estas tecnologías en el sector hospitalario tanto en España como el mundo, destaca que en el sector salud se procura el incremento de la esperanza de vida , por lo cual la digitalización inherente a el uso de las tecnologías calidad el acceso a la información en tiempo real, empoderando al personal asistencial como a el mismo paciente ante su estado de salud, favoreciendo la efectividad , la eficiencia y la agilidad , permitiendo controlar, prevenir y promocionar los hábitos de vida saludables, reduciendo costos , dónde el sector sanitario es uno de los que las aplicaciones de IOT están teniendo un impacto más acusado, refiere que los beneficios del uso de esta superan las expectativas originales, ya que favorece las sostenibilidad, eficiencia en los procesos y la rentabilidad (Quental, 2020).

## 2.6. Proceso de comunicación DHT11

El Sensor de referencia DHT11 empleado en el prototipo describe el proceso de comunicación en el cual se trasmite por un bus de un solo cable. En DHT-11, el bus de datos del 1 cable se eleva con una resistencia a VCC. Entonces, si no ocurre nada, el voltaje en el bus es igual a VCC.

El formato de los datos se envía en 5 tramas de 8 bits para un total de 40 Bits de datos segmentados así:

$$\frac{00000000}{8bitshumedad} + \frac{00000000}{8bitshumedad} + \frac{00000000}{8bitstemp} + \frac{00000000}{8bitsTemp} + \frac{00000000}{paridad}$$

Figura 1. Ecuación transmisión de datos en los bits

## 3. METODOLOGÍA

Es un estudio descriptivo experimental que utiliza metodologías cualitativas teniendo en cuenta que se pretende evaluar la necesidad del implementar herramientas de monitoreo de humedad y temperatura del ambiente físico en espacios de almacenamiento y traslado de material biológico como las vacunas, dentro del área de sanidad de las fuerzas militares u otros entes de salud, teniendo en cuenta el impacto de factores ambientales ante la efectividad o viabilidad de la utilización de estas.

Una vez identificadas las necesidades se procede al desarrollo de software ágil, permitiendo definir las acciones que realiza el sistema. Para lo cual se emplea un formato descriptivo de historias de usuario identificando los requerimientos funcionales de la aplicación, con los diagramas de clases y los dispositivos IoT necesarios para el control, recolección y transmisión de la información.



## 4. RESULTADOS

### a. Suministro de energía Raspberry Pi 4

En el transporte de material biológico es necesario tener en cuenta la autonomía del suministro de corriente que se emplea en la placa Raspberry Pi (Rpi), debido a que los movimientos en el territorio colombiano pueden requerir el recorrido de largas distancias. Por lo tanto, es necesario determinar la demanda de energía que será requerida y el consumo de entrada.

De acuerdo con las pruebas de consumo de energía máximo de la Rpi 4 este es de 7,6 W funcionando y de 3,6 W en reposo. La mejor fuente de alimentación de acuerdo con la documentación oficial de Raspberry pi es USB Type-C en un rango de entrada de 5.1 V / 3A. De acuerdo con lo anterior si un desplazamiento en vehículo se requiere monitorizar el cambio de temperatura y la Humedad por un periodo de n Hrs es necesario mantener una autonomía de energía por este periodo de tiempo.

Por ejemplo, para un desplazamiento de 8 hrs en vehículo se obtiene que:

- Potencia (consumo) por hora:  $V \times A = 5.1 \text{ V} \times 3 \text{ A} = 15.3$
- Capacidad batería (mAh)  $W \times 1000 / V : 15.3 \times 1000 / 5.1 = 3000 \text{ mAh}$
- Capacidad deseada de la batería:  $\text{mAh} \times \text{HS autonomía} : 3000 \text{ mAh} \times 8 \text{ Hrs} = 24\,000 \text{ mA}$

Por el cálculo anterior el Rpi 4 requiere una fuente de energía con una capacitancia de entrega de 24000 mA para 8 horas.

**Bancos de poder (power bank):** Con el objetivo de brindar una autonomía de energía a Rpi 4 es necesario buscar mecanismos que soporten la energía para que los datos emitidos por los sensores sean enviados al servidor GLAMP.

El prototipo desarrollado se pensó para ser instalado sin acceso a la red eléctrica tradicional. Por ello, se propone una fuente de poder suplida por bancos de potencia que cumplan con la autonomía de energía necesaria para suplir la demanda necesaria.

Los Power Bank son baterías portátiles que proveen un mecanismo que almacena corriente para ser recargado a un dispositivo móvil por medio de cable USB permitiendo determinar la capacidad de potencia medida por miliamperios por hora mah lo cual permite determinar la carga eléctrica acumulada y ser entregada a un dispositivo electrónico.

*Los Power Bank; Análisis de voltaje y amperaje que proveen + capacidad*

\* ¿Qué autonomía proveen?: Imazing 10000mah Qualcomm Quick Charge 3.0 Type C 5V/3A input & output Power Bank Portable Charger External Battery Pack 3A + 3.0 5V 9V 12V



Figura 2. Imagen de la batería

### b. Diseño de la aplicación web

Una vez identificado las necesidades de implementar un sistema informático en el que le permita el acceso a un usuario mediante un navegador; se procede a realizar un modelo de arquitectura cliente-servidor lo que describe al cliente como usuarios del sistema y los dispositivos Rpi4 (*Raspberry pi 4*) por lo anterior es necesario identificar que los protocolos de comunicación se debe implementar un canal seguro.

Para la aplicación web se identifican los componentes que le permiten conectar y lograr el funcionamiento; a continuación, se muestra el diagrama de componentes principales.

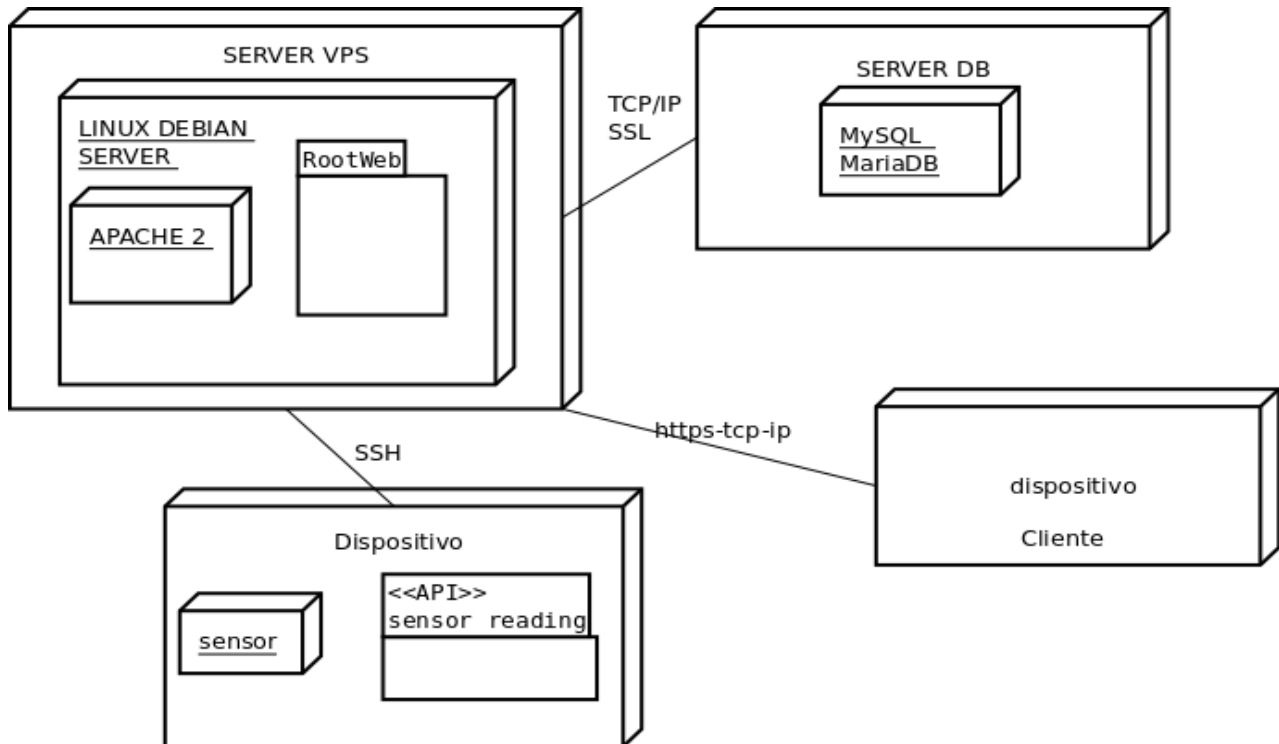


Figura 3. Diagrama de componentes. Los Autores.

En la figura 3, se ve el diagrama de componentes lo cual se identifican los protocolos de comunicación entre el cliente-servidor.

En el diseño de la aplicación se muestra el diagrama de clases y la relación que tiene, lo anterior permite describir el funcionamiento del núcleo de la aplicación y los módulos que la integran así mismo el mapeo relación de objetos *ORM*<sup>[1]</sup> que se debe de implementar en la base de datos.

Se trabajó con procesos de manejo de datos o documentos de tipo clínico, a través de procesos de estandarización de este tipo de información y permiten un soporte de respeto a la información y de buen manejo de datos, acatando normas HI-7, entre otras ( Lagos, García, & & Vargas, 2016)

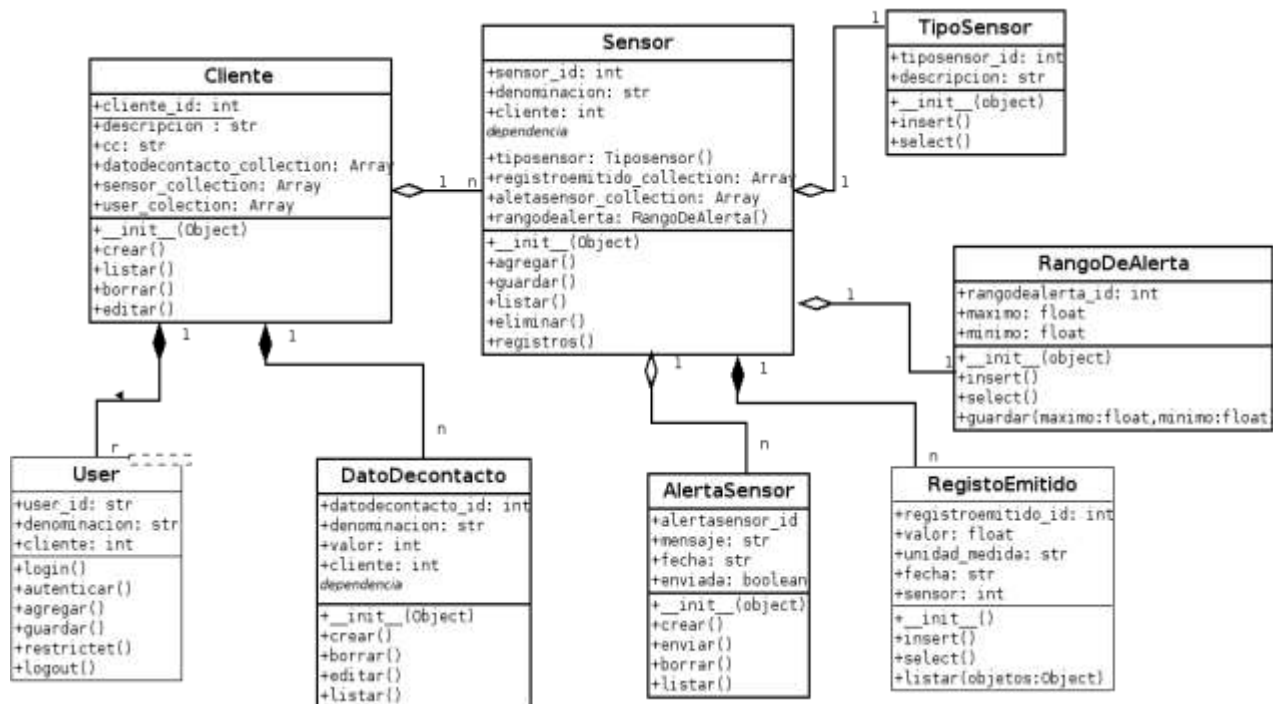


Figura 4. UML de los módulos. Los autores.

### c. Descripción del flujo de datos (Rpi4 – Servidor)

Una vez diseñado y realizado el Deploy (despliegue) en local; se plantea un flujo de comunicación por medio de API escrita en *Python* lo cual el funcionamiento se describe en el siguiente diagrama caso de uso.

En la figura 5, se identifica el paso (1. emitir registros) en ese paso la comunicación debe de ir por un túnel cifrado lo cual permite la integridad de los datos evitando ser tomados en texto plano o modificados mientras se produce el envío de datos.

<sup>1</sup> Modelo de programación que permite mapear las estructuras de una base de datos relacional

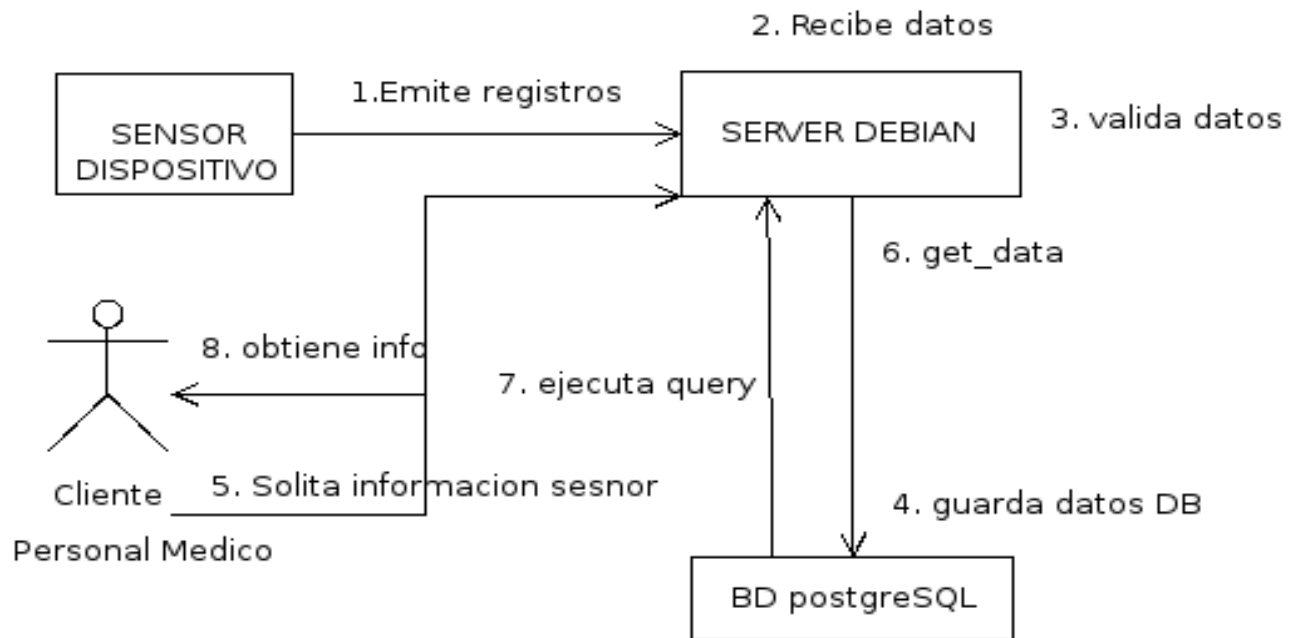


Figura 5. Flujo de señales. Los autores

Por lo anterior se plantea lo siguiente:

- Crear un usuario “*raspberry*” en el servidor.
- En el usuario ejecute un script *save\_data.py*.
- Se guarden los datos en la base de datos.
- Implementar llaves de cifrado RSA entre el Rpi4 y el servidor.
- API en el Rpi4 con el fin de que realice la conexión por *SSH*<sup>[2]</sup> envíe datos y ejecute el script *save\_data.py*.

Los pasos se realizaron empleando los siguientes comandos de Linux:

Paso 1, crear usuario “*raspberry*” en servidor aplicación web.

***Su adduser raspberrry***

*Paso 2, en la maquina servidor aplicación web.*

***ip addr optener ip de red local***

Paso 3, crear carpeta *.ssh*

***su raspberrry***

***cd***

***mkdir .ssh***

***chmod 700 .ssh***

Paso 4, desde Rpi 4 enviar llave publica RSA a server appweb.

<sup>2</sup> ssh (cliente SSH) es un programa para iniciar sesión en una máquina remota y para ejecutar comandos en una máquina remota.

[scp.ssh/id\\_rsa.pubraspberry@192.168.1.4:/home/raspberrry/.ssh/](#)

Paso 5, en servidor appweb

```
cd .ssh/
```

```
raspberrry@warrior:~/.ssh$ chmod 600 *
```

```
raspberrry@warrior:~/.ssh$ ls
```

```
id_rsa.pub
```

```
raspberrry@warrior:~/.ssh$ mv id_rsa.pub
```

```
authorized_keys
```

Resultado de la conexión entre el Rpi 4 y el servidor. Se logra empleando un canal seguro de SSH, empleando llaves de encriptado asimétrico RSA<sup>[3]</sup> Los protocolos que ofrecen los servicios de red son basados en sistemas criptográficos en grupos de claves asimétricas de clave pública, en los cuales el emisor y receptor deben de conocer la clave para lograr cifrar y descifrar la información.

Figura 6. Conexión exitosa a servidor. Los autores

#### **d. Envío de Datos - Análisis del (sensor\_reading.py)**

El proceso de envío de datos se puede realizar gracias al *sensor\_reading.py* es un script escrito en Python que permite leer los datos sensor, tomar la lectura tiempo de actividad del Rpi 4, establecer conexión al servidor web, el proceso del script se fundamenta en las siguientes funciones:

- Realiza lectura del sensor empleando los pines GPIO con la librería DHT11 de adadfruit.
- Leer el *uptime*<sup>4</sup> del Rpi4 , ya que es necesario que el usuario identifique el tiempo de actividad del sensor, en razón a la alimentación de energía está limitada por el tiempo de capacitancia del power bank.
- Envía datos empleando la librería *Paramiko* de python lo cual le permite conectar el servidor si necesidad de password ya que emplea las llaves RSA.
- Implementa una estructura de control de tipo while, con un delay de 900 segundos-

---

3 El comando rsa procesa las claves RSA. Se pueden convertir entre varios formularios e imprimir sus componentes.

4 Comando de Linux Indica cuánto tiempo ha estado funcionando el sistema

```

23 sensor = DHT11(PIN)
24
25 def read_uptime():
26     cmd = ['uptime']
27     p = Popen(cmd, stdout=PIPE)
28     data = p.stdout.read()
29     parce = data.decode('utf-8').split(' ')
30     return parce[4].replace(' ', '')
31
32 def send_data(lectura, tipo, datetime, up):
33     datos = dict(
34         sensor=SENSOR_ID,
35         value=lectura,
36         type=tipo,
37         date=datetime,
38         uptime=up
39     )
40     json = Template(JSON_DATA).safe_substitute(datos)
41     from paramiko import SSHClient, AutoAddPolicy
42
43     ssh = SSHClient()
44     ssh.set_missing_host_key_policy(AutoAddPolicy())
45     ssh.load_system_host_keys()
46     ssh.connect('192.168.0.101', 22, 'raspberrypi')
47     entrada, salida, error = ssh.exec_command("/srv/savedata.py {}".format(json))
48     print(error.read())
49     print(salida.read())
50     ssh.close()
51
52
53 while True:
54     try:
55         up = read_uptime()
56         data = sensor.temperature, sensor.humidity
57         for i in range(0, 2):
58             tipo = SENSOR_TYPE[i]
59             datetime = dt.now().strftime("%Y-%m-%d %H:%M:%S")
60             lectura = data[i]
61             send_data(lectura, tipo, datetime, up)
62
63     except RuntimeError as error:
64         print(error)
65
66 dht11_reading.py

```

Figura 7. Código del script sensor\_reading.py. Los autores

El script se programa en una tarea de ejecución contante empleando cron<sup>5</sup> lo cual permite automatizar tareas en el sistema con kernel Linux, en el Raspberry pi se implementa así:

```

# m h dom mon dow   command
@reboot python /home/pi/sensor/dht11_reading.py &
pi@rpi4:~/sensor $

```

Figura 8. Crontab-1. Los autores.

La figura 8, muestra la salida del *crontab -l* listando las tareas programadas en el sistema se ejecuta siguiendo la ruta absoluta cada vez que el sistema de reinicie.

### e. Convertir los datos en información

En este paso, la investigación toma una orientación en empezar a convertir los registros emitidos por el sensor que son almacenados en las tablas de la base de datos y convertirlos en información entendible al usuario.

En el diseño de la aplicación se identificó un requisito no funcional lo cual permita manejo de grandes volúmenes de datos o el Big-Data<sup>6</sup>, la visualización es una forma de arte visual que captura el interés de un usuario y le permite identificar la información de una manera más clara.

<sup>5</sup> Función de Linux inicia automáticamente desde /etc/init.d al entrar en niveles de ejecución multiusuario

<sup>6</sup> El Big Data o Datos masivos es un concepto que hace referencia al almacenamiento de grandes cantidades de datos. <https://itrenting.com/>

En el proyecto se diseña un dashboard en el cual le permite identificar los gráficos de líneas, gráficos de histogramas de frecuencias, mapas de calor, listados de los registros por medio de Data tables de JQuery<sup>7</sup>

**Visualización de datos promedios:** La visualización de los datos promedios emitidos por día permite alimentar el primer componente del dashboard. En la historia de usuario se plantea la visualización de los últimos 7 días, recuperándolos mediante una consulta de SQL. El módulo se programa en un helper del módulo registroemitido.py sin afectar a los módulos del rootsystem, a continuación se menciona la secuencia de proceso tiene el *HelperRegistroEmitido.py* :

- Realizar la consulta SQL del promedio de valor del registro. Realizar la consulta en los rangos de fecha de los últimos 7 días.
- Darle un formato a la fecha por día. Recupera los datos y los fragmenta en un array. La entrega al javascript.

El resultado del método es el siguiente código en Python, ver Figura 9:

```

10 def get_data(sensor_id):
11     FORMATO = "%Y-%m-%d"
12     actual = date.today()
13     fechamenos7dias = actual - timedelta(days=7)
14     fecha = actual.strftime(FORMATO)
15     fecha_antes = fechamenos7dias.strftime(FORMATO)
16
17     sql = """
18     SELECT AVG(valor) AS valor,
19            DATE_FORMAT(fecha, "%d %e") AS fecha,
20            unidad_medida AS label
21     FROM registroemitido
22     WHERE sensor = {}
23     AND DATE(fecha) BETWEEN '{}' AND '{}'
24     GROUP BY unidad_medida, DATE(fecha)""".format(sensor_id, fecha_antes, fecha)
25
26     resultados = DBQuery().execute(sql)
27
28     um_1 = resultados[0][-1]
29     um_2 = resultados[-1][-1]
30
31     if um_1 != um_2:
32         resultados_1 = resultados[int(len(resultados) / 2)]
33         resultados_2 = resultados[int(len(resultados) / 2)]
34         resultados = [resultados_1, resultados_2]
35     else:
36         resultados = [resultados]
37
38     return resultados
39
40

```

Figura 9. Código en Python. Los autores.

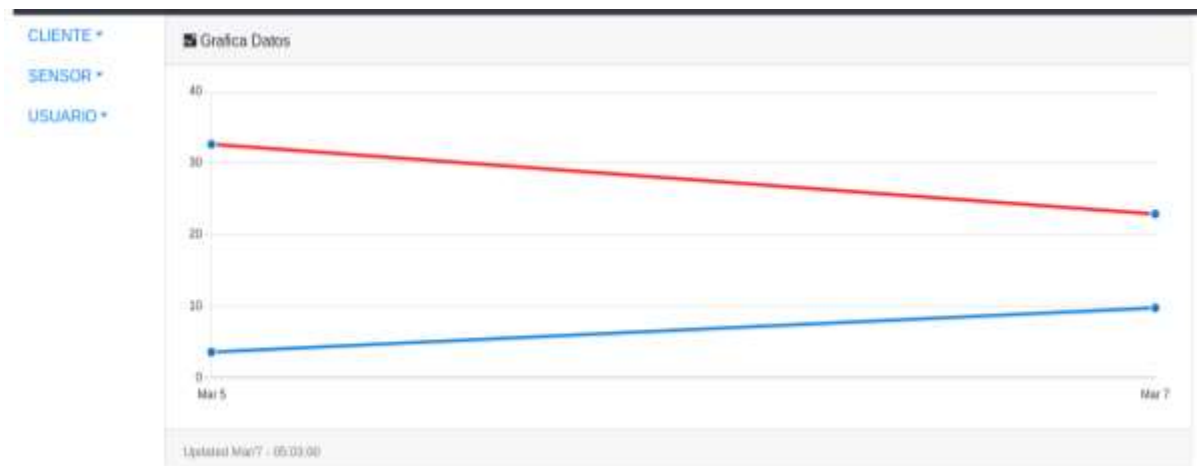


Figura 10. Resultado del Python. Los autores.

<sup>7</sup> Es un plugin para jQuery que permite añadir funcionalidades avanzadas a cualquier tabla html

Fórmula empleada en el promedio:

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} \quad \text{Ecuación (1)}$$

La suma de los registros emitidos por día es el promedio de los datos mostrados en la primera grafica del Dashboard.

**Visualización de histograma de frecuencias:** La visualización de las frecuencias permite entregar al usuario la información basada en categorías de eje horizontal; permitiendo así visualizar la distribución de los datos. En el caso aplicado se permite identificar cual es la temperatura con mayor frecuencia en la emisión de registros por parte de los sensores.

Por lo anterior el cálculo de las frecuencias se identifican en el grupo de datos obtenidos por la consulta SQL a la base de datos, es necesario identificar los conceptos de los tipos de frecuencias.

- Frecuencia absoluta, cantidad de veces que un valor aparece en la muestra.
- Frecuencia relativa, es el cociente de la frecuencia absoluta y N.
- Frecuencia acumulada, suma de todas las frecuencias menores o iguales a la frecuencia absoluta. Frecuencia relativa acumulada, cociente entre frecuencias acumuladas y cantidad total de datos.

Una vez se verifico los conceptos de las frecuencias en estadística se propone implementar el grafico de frecuencias de las temperaturas según la HU<sup>8</sup> “*mostrar un histograma con las frecuencias acumuladas de los registros emitidos a lo largo del tiempo para un sensor determinado*”. Así las cosas se deben calcular la frecuencia acumulada de todos los registros en una lista o arreglo unidimensional y pasarlo al grafico histograma.

*x = Temperaturas*

*y = Frec. Acumuladas*

¿Cómo afecta el rendimiento en la aplicación? Si las listas de datos tengan datos nulos.

Verificando las fusiones nativas de MySql se emplea la COUNT()<sup>9</sup>, permitiendo calcular las frecuencias absolutas en la tabla de registros emitidos filtrados por el id del sensor.

*sql= ""*

*SELECT valor, COUNT(\*)*

*FROM registroemitido*

*WHERE sensor ={} AND unidad\_medida='C'*

---

<sup>8</sup> Historia de usuario

<sup>9</sup> Devuelve un contador con el número de valores distintos de NULL en las filas recuperadas por una sentencia



### ***GROUP BY valor''''format(sensor\_id)***

como resultado de la consulta muestra una tupla con listas agrupadas en una variable resultados[i]



Figura 10. Tupla de resultados. Los autores.

La figura 10, muestra como resultado las frecuencias y su visión aproximada de la distribución a lo largo de un intervalo continuo, las barras en el histograma representan la frecuencia acumulada en cada temperatura.

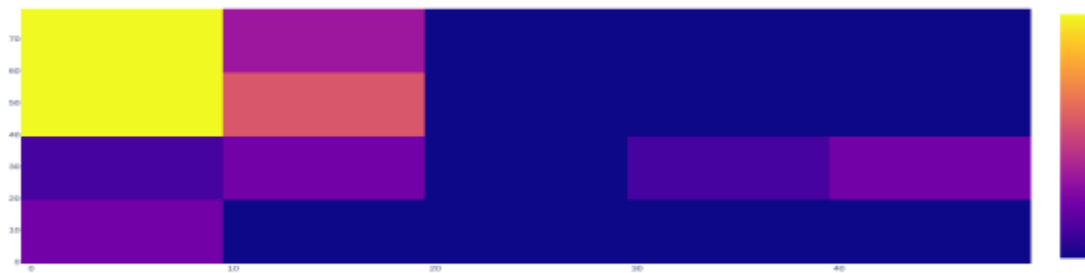


Figura 11. Histogramas 2d. Los autores

Los histogramas 2d son otra manera de visualizar el comportamiento de las frecuencias.

### **f. DataFrames**

Los DataFrame son estructuras de datos que contienen columnas como una hoja de cálculo la cual se permite dar manejo para el volumen de datos, en el modelo de tratamiento de datos exportando de la base de datos en un formato csv<sup>10</sup> lo cual le permite un adecuado manejo. Transformar de un archivo de texto plano destinado para el almacenamiento de masivo de datos.

Python en su librería estándar provee un módulo csv de lectura y escritura. En la obtención del archivo csv de la base de datos de MySQL se emplea la siguiente sentencia SQL.

#### **SELECT INTO OUTFILE**

Escribe las filas resultantes en un archivo y permite el uso de terminadores de columna y fila para especificar un formato de salida particular. Como resultado del empleo del dump sql a csv

10 « comma separated values » (valores separados por coma), definido en las RFC 4180

```

SELECT * INTO OUTFILE '/tmp/test.csv'
  FIELDS TERMINATED BY ','
  LINES TERMINATED BY '\n'
FROM registro emitido WHERE sensor=8;

```

La sentencia SQL describe la salida a la capeta de temporales, los campos de la tabla lo delimiten por “,” (coma) y las líneas las separa por un salto de línea en la tabla registro emitido donde el campo sensor sea igual a 8; una vez el archivo csv es exportado a la carpeta */tmp* del servidor, se verifica el archivo en el cual se emplea una librería muy útil para el tratamiento de datos para Python llamada PANDAS<sup>11</sup>, es una librería que proporciona datos rápidos, flexibles y expresivos con estructuras diseñadas para el manejo de datos relacionales o etiquetados.

```

Python 3.7.3 (default, Jul 25 2020, 13:03:44)
[GCC 8.3.0] on linux
Type "help", "copyright", "credits" or "license" for more information.
>>> import pandas as pd
>>> df = pd.read_csv('/tmp/test.csv')
>>> print(df)
   201  20.00  C  2020-09-12  09:28:38  8
0   202   56.0  H  2020-09-12  09:28:45  8
1   203   20.0  C  2020-09-12  09:43:46  8
2   204   56.0  H  2020-09-12  09:43:48  8
3   205   21.0  C  2020-09-12  09:58:49  8
4   206   56.0  H  2020-09-12  09:58:50  8
...
322  526   54.0  H  2020-11-03  19:03:58  8
323  527   24.0  C  2020-11-03  19:34:02  8
324  528   55.0  H  2020-11-03  19:34:21  8
325  529   24.0  C  2020-11-03  19:49:22  8
326  530   55.0  H  2020-11-03  19:49:31  8
[327 rows x 5 columns]

```

Figura 12. Salida de la lectura del archivo csv . Los autores.

### g. Diagrama de Flujo proceso de comunicación

El diagrama de flujo indica el proceso general del flujo de los datos en el cual inicia con la ejecución programada del script de lectura del sensor en el Rpi4 con la función de enviar la lectura empleando canal cifrado, procesando los datos a peticiones de usuario. Ver figura 13. |

[1]

---

11 pandas: una potente biblioteca de análisis y manipulación de datos para Python

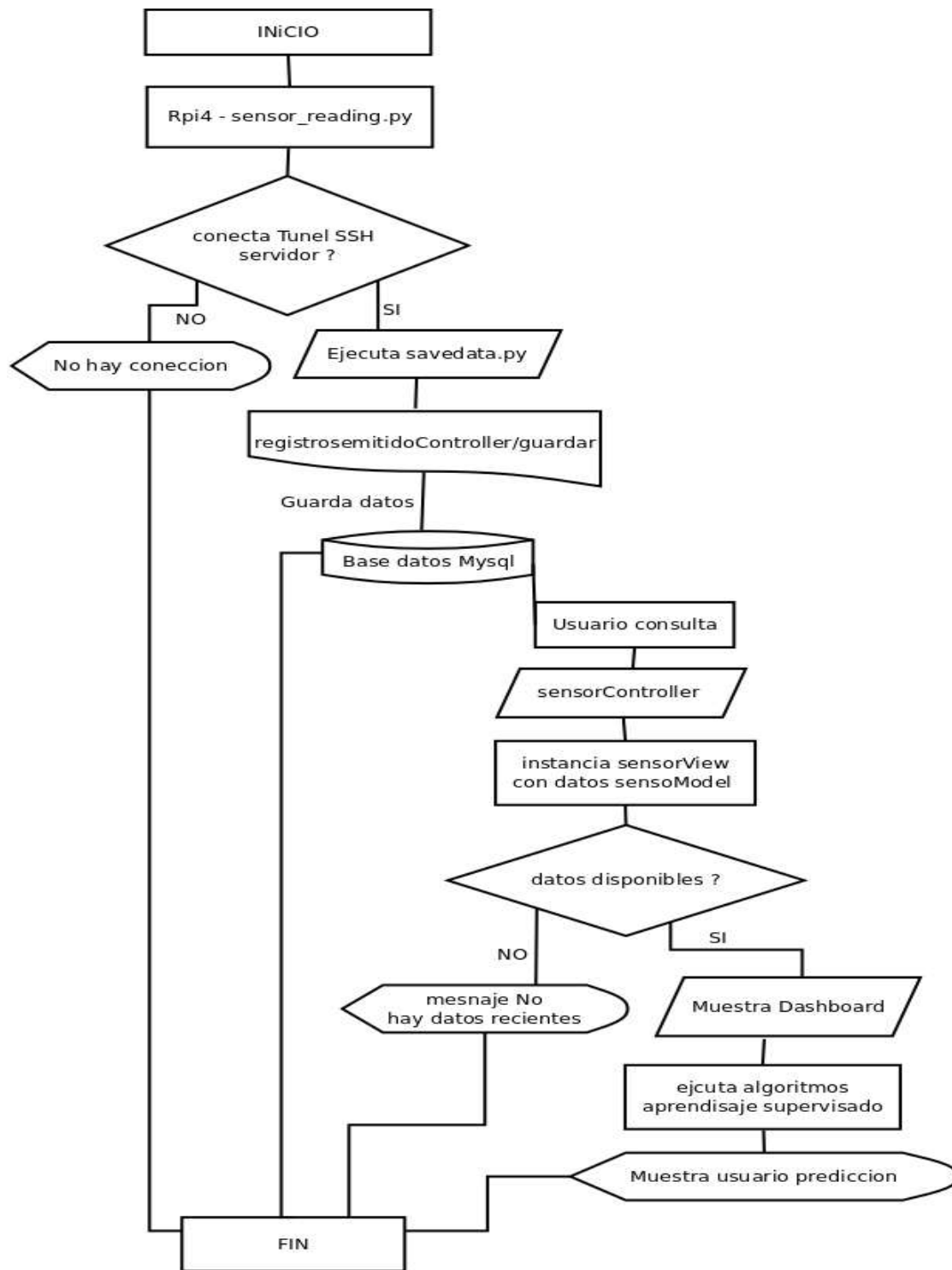
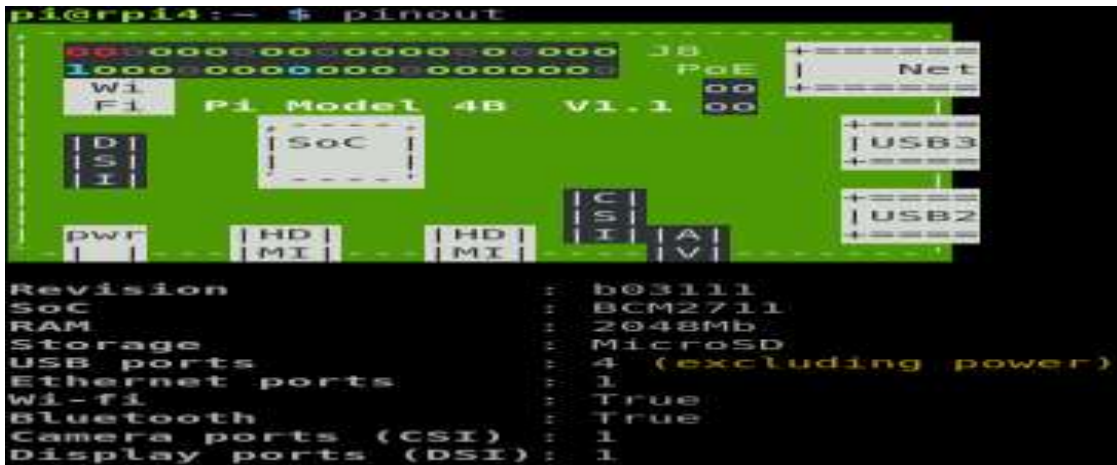


Figura 13. Diagrama de flujo del proceso. Los autores.

## h. Esquema montaje Circuitual



```
pi@pi4:~$ pinout
Revision          : b03111
SoC               : BCM2711
RAM               : 2048Mb
Storage           : MicroSD
USB ports         : 4 (excluding power)
Ethernet ports    : 1
Wi-Fi             : True
Bluetooth         : True
Camera ports (CSI) : 1
Display ports (DSI) : 1
```

Figura 14. Salida comando pinout. Los autores. La figura 14, muestra la salida de comando *pinout* identificando la configuración inicial del Rpi4.

## i. Modelo de Machine Learning

La Inteligencia artificial es una rama de la informática, que la base fuerte es la lógica y la ciencia cognitiva para el aprendizaje de maquina logrando imitar la capacidad. Michael Haenlein definen la inteligencia artificial como “la capacidad de un sistema para interpretar correctamente datos externos, para aprender de dichos datos y emplear esos conocimientos para lograr tareas y metas concretas a través de la adaptación flexible”<sup>12</sup> Así las cosas si se aplica un modelo de inteligencia Artificial como un modelo de auditoria de seguridad, como por ejemplo se puede entrenar un algoritmo en el cual apoye la labor de monitoreo de las temperaturas y humedad o cualquier variable que emita los sensores.

Por lo anterior mencionado surge el interés por implementar modelos de aprendizaje automático y predecir alertas en los sensores. La funcionalidad predicción muy similar a la clasificación, pero para valores continuos, permitiendo intentar predecir qué valor obtendremos dado un conjunto de datos de entrada con resultado desconocido. Como se mencionó anteriormente, se puede utilizar para predecir datos de sensores empleados en la organización y la probabilidad de que ocurra algún evento utilizado con frecuencia en estadística con Regresión Lineal.

---

12 Michael Haenlein (2019)

## 5. CONCLUSIONES

- Se desarrolló una aplicación web con arquitectura cliente servidor; dado que el sensor mediante API REST envía datos emitidos en tiempo real a la base de datos permitiendo almacenar datos y modelar a partir de los módulos auxiliares.
- Código fuente de la aplicación disponible en <https://launchpad.net/sensoriot>.
- En la aplicación web modular se implementó el modelo vista controlador MVC, por seguridad de aplicación, siendo el controlador el único responsable de dar respuesta a las peticiones del cliente por medio del FrontController, llegando al modelo en la capa de abstracción, dando lugar a datos interpretables por el usuario.
- Se implementó un diseño de comunicación empleando canales seguros de transmisión de datos, como lo es el tunneling ssh, logrando que una interfaz de Raspberry pi se configure en un usuario.
- La implementación de un módulo de alertas se diseñó un algoritmo observador, lo cual permite identificar los datos que se emiten fuera del rango de alerta, a través de afirmaciones categóricas y condicionales lógicos de programación.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AEP. (2019). 6 Congreso AEP. Burgos: AEP. Obtenido de <https://www.congresoae.org/AEP2019>
- Almazán, D., Sánchez, Y., & Medina, J. (2017). Influencia de los sistemas de información en los resultados organizacionales. *Contaduría y Administración*, 62, 303-320.
- Cardenas, E. R. (2009). *Metrología e instrumentación*. Bogotá: Grin Verlag. Recuperado el 17 de 9 de 2020, de [https://books.google.com.co/books?id=iZkknwEACAAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.co/books?id=iZkknwEACAAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- Carestream.com. (2019). *Carestream.com*. Obtenido de <https://www.carestream.com/blog/2019/01/01/el-internet-de-las-cosas-iot-en-el-area-de-la-salud-en-2019/>
- Ejército, S. M. (16 de 11 de 2020). *sanidadfuerzasmilitares.mil.co*. Obtenido de <https://www.sanidadfuerzasmilitares.mil.co/direccion-sanidad-ejercito-nacional/institucional/entidad/dependencias/laboratorio-referencia-e-investigacion/publicaciones/galeria&download=Y>
- Eurotherm. (2019). *Eurotherm.com*. Obtenido de <https://www.eurotherm.com/en/eurotherm-previous-events-en/national-manufacturing-conference-exhibition-2019/>
- Foundation, P. (23 de Septiembre de 2019). <https://docs.python.org/2/library/httplib.html?highlight=thhp%20client#%20modulehttplib>. Obtenido de <https://docs.python.org/2/library/httplib.html?highlight=thhp%20client#%20modulehttplib>
- Kroenke, D. (2003). *Procesamiento de bases de datos: fundamentos, diseño e implementación* (Vol. 8 Edición). México D. F.: Pearson.

- Lagos, J. A., García, L. S., & Vargas, J. D. (2016). Standardization of Clinical Documents Through HL7 - FHIR for Colombia. *INTERNATIONAL JOURNAL OF COMPUTER SCIENCE & INFORMATION TECHNOLOGY*, 8(6), 17-25. doi:10.5121/ijcsit.2016.8602. 15
- Metalinspect.blog. (27 de Junio de 2019). *blog.metalinspec.com.mx*. Obtenido de <https://www.blog.metalinspec.com.mx/post/la-importancia-del-control-de-la-humedad-en-la-industria>
- Ministerio de Salud, C. (2020). *Boletín de Prensa No 957 de 2020*. Bogotá: Presidencia.
- Noticias ONU. (11 de 11 de 2020). Obtenido de Ningún sistema sanitario está preparado para almacenar y transportar dos de las vacunas contra el COVID-19: <https://news.un.org/es/story/2020/11/1483952>
- OMS, O. M. (29 de 10 de 2020). *Organización Mundial de la Salud*. Obtenido de [https://www.who.int/es/news-room/q-a-detail/vaccines-and-immunization-what-is-vaccination?gclid=EAIaIQobChMI3dH4s5qa7QIVEYbICh3mOALAEAAAYASAAEgLBuFD\\_BwE](https://www.who.int/es/news-room/q-a-detail/vaccines-and-immunization-what-is-vaccination?gclid=EAIaIQobChMI3dH4s5qa7QIVEYbICh3mOALAEAAAYASAAEgLBuFD_BwE)
- PProtech. (18 de 10 de 2020). *eproteca.com*. Obtenido de [https://www.eproteca.com/carpeta-productos/Catalogo\\_digital\\_PDF\\_Fotos/1-Instrumentos\\_de\\_Medicion/12-Termohigrometros/THR5W-E-PPROTECH.pdf](https://www.eproteca.com/carpeta-productos/Catalogo_digital_PDF_Fotos/1-Instrumentos_de_Medicion/12-Termohigrometros/THR5W-E-PPROTECH.pdf)
- Quental. (8 de 11 de 2020). *Quental.com*. Obtenido de <https://www.quental.com/media/files/Informe-Tecnologia-IoT-en-el-Sector-Hospitalario.pdf>
- Rafael, L. F. (2017). *Fundamentos de Informática y Programación en C*. Bogotá: Paraninfo.
- Rose, K., Eldridge, S., & Chapin, L. (23 de 11 de 2020). *InternetSociety.org*. Obtenido de <https://www.internetsociety.org/wp-content/uploads/2017/09/report-InternetOfThings-20160817-es-1.pdf>
- Sierra, F. (Junio de 2012). Vacunaciones en las Fuerzas Armadas. Un largo camino recorrido y por recorrer. *Sanidad Militar*, 68(2). doi:<http://dx.doi.org/10.4321/S1887-85712012000200002>
- Sparague, C. (2013). Information Systems Development: Business, Database Design, Information Technology. *Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de Información*, 23-45.
- Thingspeak.org. (25 de septiembre de 2019). *Thingspeak.org/documentation API*. Obtenido de <https://community.thingspeak.com/>
- Vacunasaep.org. (Febrero de 2020). *Manual de vacunas en línea de la AEP*. (AEP, Editor) Obtenido de [vacunasaep.org: https://vacunasaep.org/documentos/manual/cap-6](https://vacunasaep.org/documentos/manual/cap-6)
- Velarde, R. J. (2017). Breve revisión a la historia de la Unión Soviética en el centenario de la Revolución Rusa. *Revista Ciencia y Cultura*, 21(38). Obtenido de [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2077-33232017000100005](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-33232017000100005)
- Vertiz, C. U. (2011). La cadena de frío en la industria farmacéutica: Del fabricante al paciente. (U. d. Lima, Ed.) *Ingeniería Industrial*(29), 11-34. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=337428495002>
- Weiss, D., & Lai, C. (1999). *Ingeniería de línea de productos de software: un proceso de desarrollo de software basado en la familia* (Vol. Primera edición). Addison Wesley.