

# Registro y monitoreo en instalaciones de banco de sangre con Internet de las Cosas

## Recording and Monitoring in Blood Bank Installations with IoT

Presentación: 26 y 27 de octubre de 2022

### **Leonardo Depetris**

Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional San Francisco. San Francisco, Córdoba. Argentina.  
leodepetris@gmail.com

### **Damián Romani**

Cooperativa de Servicios Públicos de Morteros Ltda. Morteros, Córdoba. Argentina  
dromani@coopmorteros.coop

### **Joaquín Gonzalez**

Cooperativa de Servicios Públicos de Morteros Ltda. Morteros, Córdoba. Argentina  
jgonzalezi@coopmorteros.coop

### **Claudio Bottero**

Cooperativa de Servicios Públicos de Morteros Ltda. Morteros, Córdoba. Argentina  
cbottero@coopmorteros.coop

### **Lorenzo Depetris**

Cooperativa de Servicios Públicos de Morteros Ltda. Morteros, Córdoba. Argentina  
ljdepetris@coopmorteros.coop

### **Julieta Costamagna**

Cooperativa de Servicios Públicos de Morteros Ltda. Morteros, Córdoba. Argentina  
jcostamagna@coopmorteros.coop

### **Jose Romani**

Cooperativa de Servicios Públicos de Morteros Ltda. Morteros, Córdoba. Argentina  
jromani@coopmorteros.coop

### **Resumen**

El prototipo se centra en obtener y registrar en una base de datos los valores de temperatura y humedad interiores de los equipos de refrigeración para el almacenamiento y transporte de las unidades de sangre y plasma sanguíneo de un banco de sangre, con el objetivo de asegurar la calidad en este tipo de instalaciones, bajo los estándares de ANMAT.

Transcurridos varios meses desde su implementación, se demostró la importancia y utilidad de este, puesto que con la información brindada se procedió al reemplazo de una de las unidades refrigerantes. Actualmente, mediante una unidad testigo, se espera obtener la temperatura de la sangre y no solo del recinto; implicando el agregado de nuevos sensores de temperatura.

**Palabras clave:** Internet de las Cosas, Protocolo MQTT, Banco de Sangre

## Abstract

The prototype focuses on obtaining and recording in a database the internal temperature and humidity values of the refrigeration equipment used in storage and transport of blood and blood plasma units from a blood bank. Its aim is to ensure this type of facilities quality under ANMAT standards.

Several months after its implementation, the importance and usefulness of this was demonstrated, since with the information provided, one of the cooling units was replaced. Currently, through a simulated blood unit, it is expected to obtain the core temperature of the blood and not only of the enclosure, involving the addition of new temperature sensors.

**Keywords:** Internet of Things, MQTT Protocol, Blood Bank

## Introducción

La transfusión sanguínea salva vidas y mejora la salud, pero muchos pacientes que la necesitan no tienen acceso oportuno a sangre segura. Suministrar sangre segura y adecuada debería ser parte integrante de las políticas e infraestructuras nacionales de atención de la salud de todos los países. (Organización Mundial de la Salud, 2018)

En el mundo se realizan aproximadamente 118,5 millones de donaciones de sangre. El 40% en países de ingresos altos, donde vive el 16% de la población mundial. Aproximadamente 13 300 centros de donación de sangre de 169 países declararon haber recogido un total de 106 millones de donaciones. La OMS recomienda que toda la sangre donada sea analizada para detectar posibles infecciones antes de su uso. La sangre debería ser sometida obligatoriamente a pruebas de detección del VIH, de los virus de las hepatitis B y C, y de la sífilis. Los análisis deberían realizarse de acuerdo con los requisitos del sistema de calidad. Diez de los países que aportaron datos no pueden analizar toda la sangre donada para detectar la presencia de una o más de estas infecciones.

La sangre recogida en un recipiente con anticoagulante se puede almacenar y transfundir a un paciente en un estado no modificado. Esto se conoce como transfusión de “sangre entera”. Ahora bien, la sangre puede utilizarse mejor si se procesa en componentes, como concentrados de glóbulos rojos, concentrados de plaquetas, plasma y crioprecipitado. De esta manera, pueden satisfacerse las necesidades de más de un paciente. La capacidad de transfundir a los pacientes los diferentes componentes sanguíneos que necesitan todavía es limitada en los países de ingresos bajos: en estos países, el 38% de la sangre recogida se separa en sus componentes, en los países de ingresos medianos bajos ese porcentaje es del 75% y en los de ingresos medianos altos e ingresos altos es del 96%.

Los refrigeradores para almacenar sangre y componentes sanguíneos tendrán un ventilador para la circulación de aire o, de alguna otra forma, mantendrán la temperatura adecuada en todo el refrigerador. Los refrigeradores, congeladores e incubadoras de plaquetas tendrán un sistema para monitorizar continuamente la temperatura y para registrarla cada 4 horas. La temperatura ambiental en áreas de almacenamiento abierto también deberá ser registrada cada 4 horas. Los refrigeradores y congeladores estarán equipados con señales de alarma que permitan la intervención oportuna. (ANMAT, s.f.)

La sangre completa será almacenada de manera que se proteja la integridad del recipiente, y las muestras de sangre deberán almacenarse a temperaturas apropiadas para permitir su uso en las pruebas que haya que realizar. (Grupo Asesor ad hoc de la OPS/OMS, 1999)

¿Cómo se conserva la sangre, durante cuánto tiempo se puede almacenar y por qué caducan algunas unidades?

Cada componente de la sangre necesita unas condiciones diferentes para mantenerse en perfecto estado hasta el momento de su utilización (Cruz Roja, s.f.):

- Glóbulos rojos: hasta 42 días a una temperatura de 4°C.
- Plaquetas: Un máximo de 7 días, en agitación, a una temperatura de 22°C.
- Plasma: hasta 3 años, congelado, a temperatura de -40°C.

## Desarrollo

Durante la planificación y desarrollo del proyecto se siguió el concepto de Internet de las cosas (IoT), es decir, integrar a todos los sistemas de dispositivos físicos que reciben y transfieren datos a través de redes inalámbricas con poca intervención humana, independientemente de su naturaleza. Para ello, se debió utilizar un protocolo de comunicación de datos que soporte estos requisitos. Se eligió el Protocolo MQTT, debido a que es muy útil para conexiones con clientes remotos demandando muy bajo ancho de banda de internet.

MQTT utiliza el modelo cliente / servidor. Su arquitectura contiene tres componentes, estos son: *Publishers*, un *Broker* y *Subscribers*. Cada dispositivo está conectado a un servidor (*Broker*). La dirección en la que se publicó el mensaje se llama “tópico” y cada dispositivo puede suscribirse a más de un tópico y recibir todos los mensajes que se publican en estos. Las principales responsabilidades del *Broker* MQTT son procesar la comunicación entre los clientes MQTT y distribuir los mensajes entre ellos en función de sus tópicos de interés, pudiendo trabajar con miles de dispositivos conectados al mismo tiempo. Al recibir el mensaje, el *Broker* debe buscar y encontrar todos los dispositivos que poseen una suscripción a este tópico. El *Broker* fue implementado utilizando Eclipse Mosquitto. Es un agente de mensajes de código abierto que implementa las versiones 5.0, 3.1.1 y 3.1 del protocolo MQTT. Es liviano y adecuado para su uso en todos los dispositivos, desde computadoras de placa única de baja potencia hasta servidores completos.

En cuanto a la base de datos, se eligió InfluxDB, no solo por ser de código abierto, sino también debido a la simplicidad de su configuración, su enfoque optimizado para el monitoreo de operaciones, métricas de aplicaciones, datos de sensores de Internet de las cosas y el análisis en tiempo real.

Teniéndose como punto de partida el desarrollo previo de una oficina virtual de usuarios internos de la empresa en etapa de producción, se decidió utilizar ésta como soporte para cálculos, visualización de magnitudes instantáneas y gráficos históricos.

Debido a las diferencias en los requerimientos entre el dispositivo necesario para el monitoreo de almacenamiento respecto del requerido para el transporte, se procedió a desarrollar dos prototipos diferentes.

Recintos de almacenamiento: heladera de sangre en estudio, heladera de sangre no reactiva, freezer de plasma en estudio, freezer de plasma no reactivo.

Recinto de transporte: conservadora de muestras en estudio

Técnicamente hablando, para la medición de temperatura y humedad de ambos prototipos se utilizaron sensores DHT22, debido a que tiene la suficiente exactitud de medición para la aplicación que se busca. Para el procesamiento de datos y comunicación se utilizaron módulos ESP32 programados en lenguaje Arduino como lenguaje estándar, principalmente por la disponibilidad de librerías utilizadas y las que puedan necesitarse en ampliaciones futuras. Se utilizaron módulos Ethernet W5100 para dotar de comunicación internet por cable a los recintos de almacenamiento,

mientras que se utilizó tecnología GSM. Debido a que el recinto de transporte se realiza por personal ajeno a la empresa, se decidió que el prototipo incluya rastreo GPS y detección de apertura de la tapa, mediante un switch fin de carrera.

De manera ilustrativa se muestra en la Figura 1 el ecosistema IoT del proyecto. Cabe aclarar que la infraestructura preexistente incluye un módulo GSM de envío y recepción de SMS que sirve de Gateway hacia el servidor MQTT.

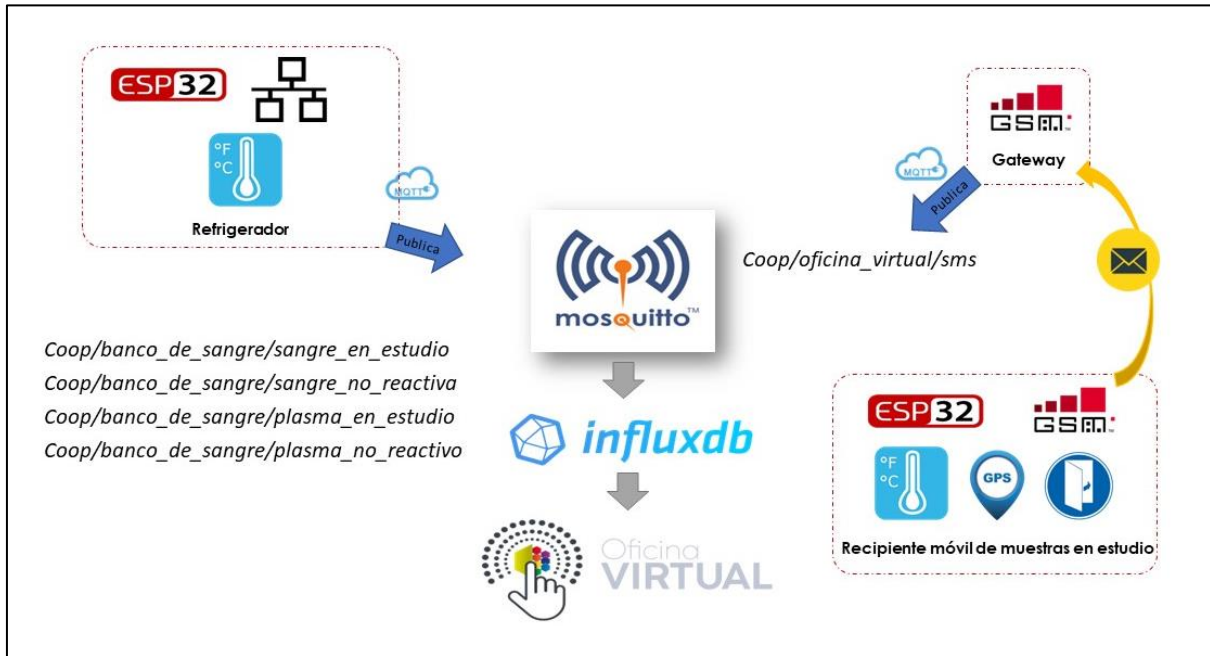


Figura 1: ecosistema IoT Banco de Sangre

En la Figura 2 podemos observar los indicadores realizados dentro de Oficina Virtual para cada uno de los recintos de almacenamiento. Tal y como se menciona en la introducción, se tienen diferentes rangos de temperaturas de almacenamiento según se trate de sangre o plasma, cuestión que se evalúa internamente en Oficina Virtual para la generación de alarmas (SMS y mail) y los colores de representación en *dashboard*.



Figura 2: indicadores en Oficina Virtual CoopMorteros

## Conclusiones

Se concluye favorablemente la implementación del prototipo propuesto, lográndose equipos que funcionan de manera continua, reportando los valores medidos a un servidor MQTT y almacenándolos mediante una base de datos InfluxDB. Como se muestra en la Figura 3, se tienen en tiempo real registros y gráficos (como así también alarmas, si existiesen). Si bien las referencias citadas mencionan registros cada 4 horas, el prototipo implementado posee una resolución mucho mayor, obteniendo datos con un periodo de un minuto; permitiendo generar acciones correctivas en caso de detectarse anomalías (como puede ser un corte de energía, un fallo en la unidad refrigeradora o incluso un error humano), evitando pérdida de unidades de sangre y plasma.



Figura 3: Gráfico de temperaturas de los 4 recintos de almacenamiento. Detalle de las últimas 12 horas.

Estudios realizados por empresas privadas resaltan que los métodos de temperatura superficial no proporcionarán una indicación precisa de la temperatura central interna, confirmando que el método adecuado para medir la temperatura real del fluido dentro de la bolsa es insertar la sonda de temperatura directamente en el centro de la bolsa llena de fluido (Smith, 2019). Es por ello que actualmente se encuentra en fase de desarrollo la incorporación de un nuevo sensor, inserto en una unidad testigo, buscando evitar el desperdicio innecesario de productos sanguíneos aptos que pueden parecer estar fuera de los límites permitidos.

## Referencias

- ANMAT. Requisitos de sistemas de aseguramiento de la calidad y buenas prácticas de fabricación aplicables a bancos de sangre proveedores de plasma como material de partida para la producción y fraccionamiento de hemoderivados  
[http://www.anmat.gov.ar/webanmat/mercosur/ACTA02-12/agregado\\_10/Dispo\\_1682\\_\(Anexo\\_II\).pdf](http://www.anmat.gov.ar/webanmat/mercosur/ACTA02-12/agregado_10/Dispo_1682_(Anexo_II).pdf)
- Cruz Roja - Donación de sangre. <https://www.donarsangre.org/todo-sobre-la-sangre/preguntas-frecuentes/>
- Eclipse Mosquitto - Un bróker MQTT de código abierto. (s.f.). Obtenido de <https://mosquitto.org/>
- Grupo Asesor ad hoc de la OPS/OMS (1999). <https://scielosp.org/pdf/rpsp/1999.v6n4/287-296/es>
- Smith Marielle, Validación de Indicadores de Temperatura Sanguínea (2019). <https://temptimecorp.com/2019/05/14/validation-of-blood-temperature-indicators/>
- Shiva Shankar J; Dr.S.Palanivel; Dr.S.China Venkateswarlu; M.Sowmya. (diciembre de 2019). MQTT in Internet of Things. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), 06(12).