

Envío de telemetría a la plataforma de Internet de las Cosas ThingsBoard aplicada a los procesos de la industria vitivinícola

César Ortega-Corral*, Héctor Leonardo Villaseñor-Neira**,
Florencio López-Cruz*

* Universidad Tecnológica de Tijuana. Carretera libre Tijuana-Tecate Km. 10
Frac. El Refugio, Tijuana, B.C. 22253. México.
cesar.ortegac@uttijuana.edu.mx, florencio.lopez@uttijuana.edu.mx,
hvillasenor@gmail.com

** Viñedos De La Reina
Km. 71 Carretera Ensenada Tecate. Ensenada, Baja California 22034, México
hvillasenor@gmail.com

Resumen

En este trabajo se configura y aprovisiona en la nube una plataforma de Internet de las Cosas que se denomina ThingsBoard, para que sirva de interfaz con el usuario, con el propósito de que, mediante IoT (del inglés “Internet of things”), se realice el monitoreo y ajustes de algunos procesos de la industria del vino. En la plataforma remota se reciben los datos obtenidos por nodos inalámbricos instalados en una vinícola, adecuados con sensores, y permite visualizar dichos datos, y ajustar parámetros de control, en múltiples paneles, o “dashboards”. Estos tableros virtuales muestran valores de algunas variables involucradas, tanto en el campo de cultivo de la uva, como en el proceso de fermentación. En el aspecto del cultivo, aquí se mide la humedad del suelo, indicador del desempeño de la actividad de riego por goteo. Por lo que el panel inicial muestra las gráficas del porcentaje de humedad del suelo a diferentes profundidades, en la vecindad de la raíz de la parra. Y en el aspecto de la fermentación se hace la medición de temperatura en tanques de enfriamiento. Cada tanque tiene asignado un controlador autónomo, que se conecta a la nube mediante WiFi. Los datos los recibe ThingsBoard web, donde se diseñaron paneles individuales para cada tanque, que muestran la temperatura y disponen de un control virtual para que el usuario pueda ajustar remotamente el “setpoint” de temperatura del proceso de enfriamiento. El beneficio de emplear los paneles de ThingsBoard en una vinícola es que el operador, o gerente, tiene acceso remoto a los datos de los procesos, que reflejan información útil para una oportuna toma de decisiones, ya sea para corregir fallas o para hacer ajustes a distancia en el control de los procesos de fermentación.

Palabras clave— Internet of things, cómputo ubicuo, dashboard, industria vitivinícola.

Abstract

In this work, an Internet of Things platform called Thingsboard is configured and provisioned in the cloud, to serve as a user interface, with the purpose of monitoring and adjusting some processes of the wine industry at a distance through IoT (from the English “Internet of things”). The remote platform receives the data obtained by wireless nodes

installed in a winery, suited with sensors, and allows the visualization of said data and the adjustment of control parameters, on multiple boards, or “dashboards”. These virtual dashboards show the values of some of the variables involved, both in grape-growing and in the fermentation process. In the cultivation aspect, soil moisture is measured here, which is a performance indicator of the drip irrigation activity. So, the initial panel shows graphs of the percentage of soil moisture at different depths, in the vicinity of the vine’s roots. And in the fermentation aspect, temperature measurement is done in cooling tanks. Each tank is assigned an autonomous controller that connects to the cloud via WiFi. The data is received by ThingsBoard web, where individual dashboards were designed for each tank, which shows the temperature chart and has a virtual control so that the user can remotely adjust the temperature “setpoint” of the cooling process. The benefit of using ThingsBoard dashboards in a winery is that the operator, or manager, has remote access to the process data, which reflects useful information for timely decision-making, either to correct failures or to adjust the control parameters of fermentation processes.

Keywords— Internet of things, ubiquitous, dashboard, wine industry

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, en el campo de los procesos industriales, y de producción en general, está ocurriendo una revolución tecnológica centrada en los datos y en la información para aumentar el rendimiento, y reducir desperdicio y merma en la producción, donde no solo sistemas computacionales y personas están conectadas, sino en la que cualquier “cosa” relevante del proceso potencialmente estará conectada al Internet, a esto (acompañado de algoritmos de Inteligencia Artificial y de robótica de nueva generación) se le está llamando la 4^a Revolución Industrial, popularmente acuñada como Industria 4.0 [1].

Para el caso de producción del vino, ya aparecen actores que buscan modernizar sus procesos vitivinícolas, dado que en el campo de cultivo de la uva y en la producción del vino, hay varios procesos que se pueden instrumentar para adquirir datos con el fin de facilitar la toma de decisiones, de tal forma que se potencia el aprovechamiento de la información inferida para mejorar los procesos involucrados [2].

En la industria vitivinícola, un recurso que se busca optimizar en su consumo es el del agua. Esto es dado que por lo regular las regiones donde son aptas para cultivar vid son semi-áridas, carentes de fuentes naturales de agua y con escasa lluvia [3]. Mucho se obtiene de pozos profundos, o se trae de alguna manera para almacenarlo localmente para consumo racionado. Por lo que en el cultivo en estas condiciones se opta por la técnica de riego por goteo, donde es importante tener conocimiento del grado de retención del agua del suelo y de cómo la humedad penetra en las capas inferiores del sustrato; esta información permitiría “tantear” cuánta agua y por cuánto tiempo gotearla de acuerdo con la superficie. Aquí

la instrumentación requerida es aquella que indique en términos relativos (u absolutos) el contenido de humedad del suelo. Ya se han estudiado los niveles óptimos de humedad de acuerdo con el tipo de sustrato para el crecimiento de la vida vegetal. Aquí se presenta una oportunidad para modernizar la manera de obtener información para la toma de decisiones en riego de un viñedo, e involucra el uso de sensores electrónicos con salida de datos para que les sean disponibles al usuario en tiempo real. Así que ideas de la Industria 4.0 potencia automatizar el proceso del riego por goteo, con tecnologías de redes inalámbricas de sensores y actuadores, aprovechando energías renovables y publicando los datos en el Internet de las cosas [3][4][5].

En el caso del proceso de fermentación también es requerido instrumentar para determinar el resultado y poder hacer ajustes para mejorarlo. Tal es el caso del control térmico de la fermentación del jugo de uva en tanques refrigerados con glicol. La mayor parte de los controladores para estos procesos son convencionales, carecen comunicación remota, y el monitoreo se presenta en sus carátulas en el sitio del control.

2. PROBLEMÁTICA

Un problema que prevalece en la industria del vino es la distancia que usualmente hay entre los operadores y algunos de los procesos [6]. Tal es el caso de las distancias que hay que cubrir en el cultivo de la uva, dado que para cosechar suficiente cantidad, se requiere plantar parras en varias hectáreas que posiblemente están lejos de la vinícola. Y al contemplar el riego del viñedo implica distribuir agua en un área extensa del campo. Tradicionalmente se determina el desempeño del sistema de riego midiendo la humedad del suelo a la profundidad de las raíces; una forma de hacerlo es mediante la implementación de tensiómetros, que usualmente requieren un tratamiento especial del sitio de monitoreo para su instalación. Con el inconveniente de que la medición es visual y se requiere viajar al sitio, y culminando con el registro manual del valor observado en el medidor. Si la humedad del suelo es insuficiente, se realiza un riego continuo hasta que se observa el indicador de humedad en un nivel adecuado, y con

esto se toma la decisión de cerrar válvulas de riego, o hacerlo en varios ciclos de riego hasta lograr el objetivo.

El reto de distancia también está presente en la fermentación del jugo de uva; dicho proceso se realiza inicialmente en tanques de acero inoxidable. Cada tanque permite regulación de temperatura mediante circulación de refrigerante; esto lo realizan controladores electrónicos convencionales que disponen de pantallas donde indican en el sitio la temperatura medida del interior del tanque y el estado del control “on/off”, con un diferencial común de +/-1°C a partir de la referencia llamada “setpoint”, esto implica una histéresis de 2°C [7]. Por lo que a cada tanque se le adecúa un controlador al cual se le conecta como entrada un sensor térmico analógico RTD (*Resistive Thermal Device*); y a la salida se le conectan los contactos de un solenoide (que abre y cierra una electroválvula del refrigerante) que se acciona mediante un relevador electromagnético a bordo del controlador.

3. MONITOREO REMOTO: THINGSBOARD

La alternativa de solución a la problemática de la distancia entre operadores y procesos de producción se resuelve implementando sistemas telemáticos, que no solo realicen la actividad de medición y control, sino también que tengan la capacidad de conectarse a un servicio en la nube, y que desde ahí se pueda interactuar con el usuario de forma ubicua a través de una aplicación. Para lo cual se requiere una plataforma de software, con el ambiente adecuado para interactuar con el Internet de las cosas. Tal es el caso de una plataforma de código abierto llamada ThingsBoard (TB) [8]. El propósito de TB es permitir un desarrollo rápido, facilitar la gestión y el escalamiento de proyectos de IoT. La solución puede ser como servicio local (en Intranet) o en un hospedaje en la nube. Según la empresa propietaria de TB, el enfoque en su desarrollo fue la escalabilidad y que fuera amigable con el usuario para implementar instrumentación virtual a la medida de las necesidades, que fuera tolerante a fallas, robusta y eficiente [9]. Un solo servidor de TB puede manejar decenas o incluso cientos de miles de dispositivos según el caso de uso y la infraestructura del hardware. La plataforma admite varias implementaciones de colas de datos y diversos

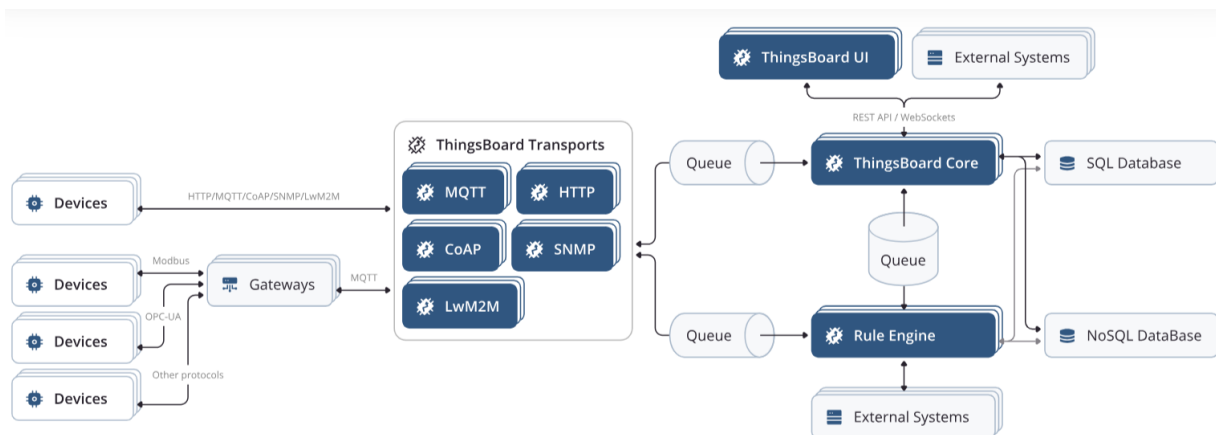


Fig. 1. Arquitectura escalable de ThingsBoard, acepta múltiples protocolos de transporte haciéndolo muy flexible.

protocolos de IoT para proporcionar flexibilidad en las conexiones, lo anterior se cumple debido a su arquitectura multimodal, que se muestra en la Fig. 1 [10]. Para el caso de implementaciones de red local, se pueden agregar “Gateways” o pasarelas, que conviertan protocolos industriales heterogéneos a protocolos de IoT ligeros y de bajo consumo de ancho de banda. Esto es porque TB admite otros protocolos de transporte, desde el clásico HTTP y HTTPS, hasta los protocolos actuales de comunicación máquina a máquina como lo es MQTT. La parte relevante para el usuario es la interfaz visual representada por el bloque ThingsBoard UI, dado que es completamente personalizable, tal que a cualquier panel se le pueden agregar nuevas funciones con facilidad, con el uso de un conjunto de controles virtuales o “widgets” disponibles para que el usuario puede colocar, acomodar y configurar en el tablero virtual o “dashboard”, de acuerdo con las necesidades particulares del proceso que se monitorea. Además, TB dispone de un ambiente adicional para crear flujos lógicos, de acuerdo con un motor de reglas para automatizar procesos o para emitir alertas. Dependiendo de la implementación particular, TB da opción para operar con bases de datos PostgreSQL o con bases de datos Cassandra NoSQL, esto depende de la infraestructura existente.

En pocas palabras, TB es una plataforma desarrollada específicamente para implementar aplicaciones de IoT sin programación (con algunas excepciones de scripts embebidos). Hay tres tipos: (1) Thingsboard Community Edition, (2) Thingsboard Professional Edition, y (3) Thingsboard Cloud. Como es de suponer, la edición Community es de uso abierto y gratuito, para propósitos didácticos con limitaciones en cantidad de usuarios y sin acceso a los datos. La versión Profesional permite mayor acceso a los datos crudos y requiere pago por descarga de instaladores o por el uso en el servicio de un tercero. Y la versión Thingsboard Cloud es un servicio que ofrece en la nube la empresa que desarrolló el software, y opera en su infraestructura, con la ventaja de constantes actualizaciones depuradas y mantenimiento directo por el personal de la empresa. También, es una opción accesible por su costo mensual relativamente bajo, con hasta 30 dispositivos por contrato básico. Esto permite crear un ecosistema de nodos de IoT bajo una misma plataforma administrada.

4. PLATAFORMA DE EXPERIMENTACIÓN DE HUMEDAD DEL SUELO

Para el caso del hardware, en este trabajo se presenta la continuidad de un proyecto previamente publicado [11], de mediciones de humedad del suelo de cultivo; donde se puso el enfoque en la respuesta de los sensores de humedad SMT100 [12], conectados al nodo inalámbrico, al que se le llamó AgroNodo o AN. Por lo que aquí se aprovecha la infraestructura y el mismo nodo (de la Figura 2) para las mediciones, y para que de forma inalámbrica envíe los datos a una estación base (de la Figura 3), ubicada al exterior de las instalaciones principales de la vinícola, donde se aprovecha un enlace WiFi para que sirva de pasarela de los datos enviados a la nube. La estación base, denominada AgroBase o AB, recibe mensajes del AgroNodo a través de su conexión

de radio en un enlace *Digimesh* [13]. En estos mensajes están codificados los datos de las mediciones que se realizan con una tasa de muestreo de un minuto. La estación base, al recibir los mensajes del AgroNodo, los decodifica, los valida y los almacena localmente; es entonces cuando la AB genera el sello de tiempo UNIX, y lo agrega al mensaje en JSON, o “JavaScript Object Notation” [14], en consecuencia la AB establece conexión de Internet, y envía el mensaje al servicio Thingsboard Cloud para que se presente en el *dashboard* correspondiente.

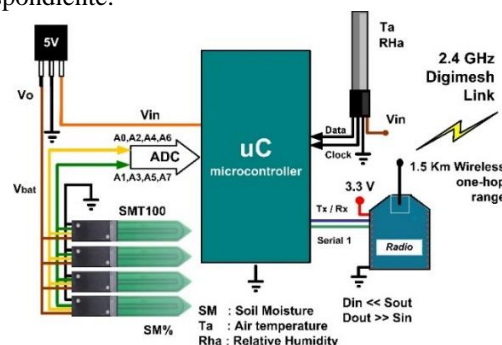


Fig. 2. Nodo de inalámbrico con cuatro sensores SMT100 y radio enlace para emitir su telemetría. [1]

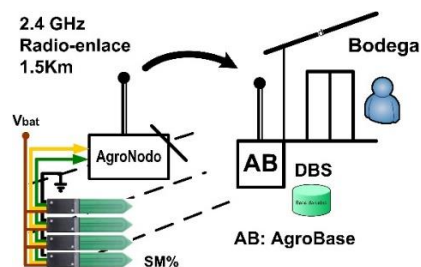


Fig. 3. Radio enlace punto a punto entre el nodo de sensores y la estación base.

Los mensajes que se envían hacia la AB se codifican en JSON, y tiene la estructura como la que se muestra a continuación:

```
{ "n" : 1, "Ta" : 28, "HR" : 60, "Ts" : 25, "SM1" : 20,
  "SM2" : 14, "SM3" : 8, "SM4" : 7, "Vb" : 12.5 }
```

El mensaje JSON inicia indicando el número de nodo “n” origen, seguido de los datos de las mediciones dados por: “Ta” la temperatura del aire, “HR” la humedad relativa del aire, “Ts” la temperatura del suelo, y “SM1”, “SM2”, “SM3” y “SM4” son la humedad del suelo a 10 cm, 20 cm, 30 cm y 40 cm de profundidad, respectivamente. Una vez que la programación de la AB valida la estructura del mensaje, el algoritmo le agrega el sello de tiempo al mensaje y después lo envía a través de la nube a Thingsboard, lo cual se explicará más adelante cuando se aborde la implementación de los *dashboards* de humedad del suelo del cultivo.

5. PROCESO DE FERMENTACIÓN: MONITOREO Y CONTROL DE TEMPERATURA

La fermentación en el proceso de producción del vino se realiza en dos fases: (1) la fermentación inicial en tanques de acero -durante semanas-, y (2) la fermentación en barricas

resguardadas en un almacén, por tiempo prolongado de dos o más años. En ambos casos se requiere una temperatura controlada. Para lo cual en este trabajo, con la colaboración de la vinícola La Reina, se permitió acceso a la configuración por Bluetooth de sus controladores fabricados por la empresa AgroIoT de México. A dicho controlador se le llama EnoController, o simplemente Enoc, como el que se muestra en la Fig. 4. Y en la Fig. 5 se muestra un tablero de tres Enoc independientes. El regulador de AC/DC del Enoc permite energizarlo con 120VAC, aprovechando la instalación eléctrica industrial de la vinícola. Para medir la temperatura, el Enoc dispone de un sensor digital encapsulado en un tubo de acero inoxidable, el cual se introduce al orificio del termómetro de los tanques de fermentación. Y como salida, en el Enoc se exponen los cables de conexión de su relevador interno de 120V AC, que se conectan a las terminales de la electroválvula instalada en la tubería del refrigerante.



Fig. 4. Enoc: Controlador de temperatura de tanques de fermentación.

Los parámetros de configuración de los Enoc son el nombre del punto de acceso WiFi y su contraseña, y los datos requeridos de conexión por el protocolo MQTT para la comunicación con el servicio TB Cloud; parámetros tales como: usuario, contraseña, TOKEN (ficha para el cifrado) y tópicos. Cabe mencionar que aquí no se pretende explicar la arquitectura de los controladores Enoc, sólo se describe su operación y los mensajes que envían al servicio configurado.



Fig. 5. Banco de tres Enoc, un controlador para cada tanque de fermentación.

Comúnmente, un tanque de fermentación de acero inoxidable tiene un ducto al interior por donde se introduce un sensor cilíndrico de temperatura de 1/4". El sensor puede ser manual o conectado a un controlador ON/OFF, que es capaz de accionar una electroválvula de paso que permite la circulación de refrigerante, a partir de una temperatura de referencia o "setpoint". En este caso, se implementa el Enoc ya descrito.

Tanques de fermentación y su control térmico

Al interior de un tanque de fermentación se dispone un tubo metálico en espiral en contacto con el líquido que almacena, con el propósito de hacer circular por él un refrigerante líquido llamado glicol. En la Fig. 6 se muestra un grupo de tres tanques, su capacidad varía dependiendo de su tamaño y geometría. Tiene dos compuertas, en la parte superior para depositar el jugo y extraer el vino, y en la parte inferior a un costado, para retirar residuos de la uva que se precipitan durante el proceso, y que representa uno de los objetivos de la fermentación en tanques.



Fig. 6. Tanques de acero inoxidable de fermentación de jugo de uva.

En su operación, el Enoc mide la temperatura del interior de un tanque de fermentación cada 30 segundos, y la compara con el Setpoint preestablecido considerando un diferencial de 0.3 °C (o ± 0.15 °C); de tal forma que si la temperatura es 0.15 grados Celsius por encima de la Setpoint, el Enoc activa el relevador electromagnético, y energiza el solenoide con lo que se abre la válvula del refrigerante líquido, al circular el glicol se activa el enfriamiento. Al contrario, si la temperatura es 0.15 °C por debajo del Setpoint, el algoritmo desactiva el relevador, con lo que se cierra la válvula del glicol y se deja de enfriar el interior del tanque. Al final del proceso, el Enoc arma un mensaje donde codifica los datos de las mediciones y el estado del proceso de control, establece una conexión con el servicio remoto y envía dicho mensaje al intermediario o broker MQTT de Thingsboard Web. El ejemplo de un mensaje de telemetría se muestra a continuación:

```
{ "Tq": "10001", "Top": 19.4, "Tsp": 15.0,
  "Val": "ON", "A": "inactive" }
```

Como se observa en el mensaje JSON del Enoc, se encierra entre llaves { } para definir la estructura de los datos en forma de objeto, y está compuesto por pares tipo “llave”:valor (o “key”:value) separados por comas, en la Tabla 1 se describe su significado:

Tabla 1. Datos codificados en el mensaje JSON

Llave	Valor o significado
Tq	Identificación del tanque
Top	Temperatura dentro del tanque, °C
Tsp	Temperatura de referencia o Setpoint, °C
Val	Estado de la Electroválvula (ON, OFF)
A	Activación de alertas (active o inactive)

A criterio del productor se fijan: la identificación del tanque es Tq, la temperatura del Setpoint y la activación de alertas. Estos valores se guardan en la memoria no-volatil del Enoc, cuya configuración se hace mediante Bluetooth. Cabe mencionar que aunque los mensajes incluyen el parámetro de alertas, la activación de alertas está fuera del alcance de este trabajo, pero se puede mencionar que el fabricante del Enoc ofrece la emisión de alertas de desconexión y de temperatura fuera de rango para los Enoc que tienen habilitado dicho servicio.

Configuración de los parámetros de un EnoController:

Como ya se ha mencionado, en la instalación inicial de un EnoController (o Enoc) se requiere que se le configuren parámetros para: (1) conectividad, (2) identificación, (3) control, y (4) monitoreo remoto. Estos parámetros del Enoc, que se muestran en la Tabla 2, se configuran mediante comunicación inalámbrica Bluetooth, sea desde una Laptop o un teléfono móvil. En el instructivo de AgroIoT explica la estructura de cada comando de configuración, e indica que el primer parámetro que se recomienda configurar es el nombre del nodo bluetooth, o BTname; seguido de la configuración de la ID del controlador, de igual manera, asociado al número de tanque.

Tabla 2. Parámetros que se requiere configurar en un EnoController durante su instalación.

Parámetro	Descripción	Tipo
SSID, password	Comunicación vía WiFi	Conectividad
BTname	ID de Bluetooth	
Controller ID	Asociado al número del tanque Tq	Identificación
TOKEN	Llave de dispositivo virtual en TB	
MQTT user	Usuario TB	
MQTT password	Contraseña TB	Control
Setpoint	Referencia de control de temperatura	
TBserver	URL de TB Cloud	Monitoreo remoto

Para el caso de identificación y conexión remota a ThingsBoard, se requiere fijar valores para MQTT user, MQTT password, TOKEN, y el TBserver, éste representado por una dirección de Internet que apunte al servidor de Thingsboard que se ha contratado; esto se describirá con mayor detalle en el siguiente apartado.

Por otro lado, el valor del Setpoint es un parámetro que por omisión viene preconfigurado a 14 °C. Este valor también se puede fijar desde la carátula del Enoc mediante sus dos botones, el procedimiento se describe en el instructivo de AgroIoT, y está fuera del alcance de este trabajo.

El último parámetro que se indica configurar es el enlace WiFi, donde se fijan valores para el SSID (del inglés "service set identifier", o identificador de conjunto de servicios) y la contraseña. Completa la configuración, se sugiere reiniciar el Enoc para que entre en operación normal con los nuevos parámetros y realice el control térmico del tanque que le corresponde.

5. THINGSBOARD CLOUD: TABLEROS VIRTUALES

ThingsBoard Cloud es una plataforma compleja que tiene un menú de recursos, de los cuales los más importantes son: Dashboards, Enteties, Custumers y Users, como se observa en la Fig. 7.

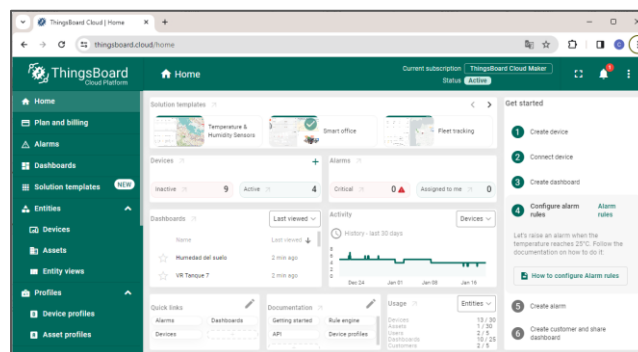


Fig. 7. ThingsBoard Cloud, ofrece plantillas de sistemas de IoT predefinidos

Dentro del grupo de Enteties (Entidades) hay tres tipos: Devices, Assests, Entitie Views. Aunque hay otros recursos, los mencionados son las primordiales para configurar y operar los tableros de interfaces del usuario, o dashboards. En la pantalla de inicio de Thingsboard Cloud, Fig. 7 anterior, donde se observa la oferta de plantillas preconfiguradas de aplicaciones típicas de IoT.

Para que el servidor de ThingsBoard reciba datos de los nodos de IoT, se requiere crear dispositivos virtuales, o Devices, opción que está dentro del menú de Entities, con lo que aparecerá la lista de dispositivos existentes. En un servicio ThingsBoard Cloud recién contratado aparecerán por omisión dispositivos de demostración que acompañan a los plantillas que ofrecen, como parte de su estrategia de adiestramiento, pues los plantillas están trabajados hasta un

nivel funcional que operan a partir del momento que se reciben mensajes codificados apropiadamente con una llave o TOKEN específico que identifica de qué dispositivo se originaron los datos. Estos plantillas permiten su edición para cualquier personalización con lo que se pueden aprovechar tales recursos predefinidos para una implementación rápida.

Cuando se define un dispositivo, o *device*, además de configurar el nombre por el que será identificado por el usuario, también es de suma importancia la configuración del TOKEN que se comparte para que TB dirija el flujo de datos al dispositivo correcto. En la Fig. 8 se muestra la ventana de configuración del *Access Token* que emerge al oprimir el botón de *Device Credentials* en el menú de detalles del dispositivo, o *Device Details*. Por lo regular TB crea por omisión una cadena aleatoria de caracteres alfanuméricos, pero el usuario puede personalizar el Token a la medida de sus necesidades.

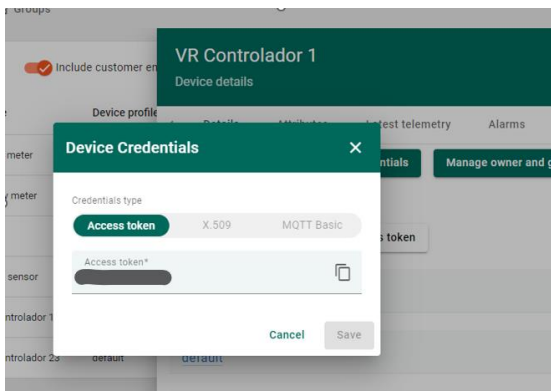


Fig. 8. Ventana de configuración de la llave de acceso o *Access Token*.

Una vez configurado el dispositivo de interés, y ya recibiendo datos de telemetría, el siguiente paso es seleccionar alguna de las variables recibidas en la última telemetría para asignar tal parámetro a un “widget” (Fig 9), así se le llama a un control de instrumentación virtual, oprimiendo el botón “Show on widget”. Esto abre otra ventana desde donde se selecciona el widget para la variable que se quiere visualizar en un tablero. También es posible seleccionar un tablero ya existente para agregar el control al su ambiente.

Entre los “widgets” o controles virtuales (Fig. 10), hay distintos tipos para visualización como son los indicadores o “gauges”, tipo analógico o digital, también los datos se pueden mostrar en tablas o en tarjetas que muestran metadatos, o en gráficas cartesianas que describen la variabilidad histórica del parámetro observado, etc. Además de la generación de dispositivos virtuales a nivel capa física, Thingsboard tiene diferentes niveles de abstracción para representar a un sitio de monitoreo y control, que puede o no incluir una descripción física de la planta o edificio que se trate.

Last update time	Key ↑	Value
2023-05-13 15:07:23	SM2	656
2023-05-13 15:07:23	SM3	611
2023-05-13 15:07:23	SM4	667
2023-05-13 15:07:23	T	18
2023-05-13 15:07:23	ts	1651247556
2023-05-13 15:07:23	vbat	9.55

Fig 9. Panel de telemetría de un dispositivo.

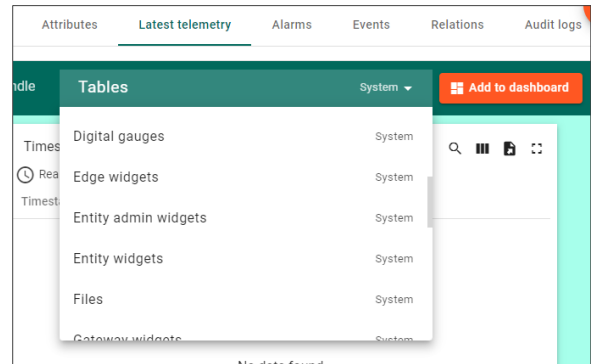


Fig. 10. En TB, hay múltiples tipos de instrumentos virtuales para mostrar los datos en un dashboard.

5.1 Riego por goteo: Tableros de humedad del suelo

El primer tipo de “dashboard” que se generó es la de mediciones de humedad del suelo de cultivo, de valores medidos a cuatro profundidades: 10cm, 20cm, 30cm y 40cm, enterrados al costado de la raíz de las parras. En la figura se muestra una de las abstracciones que se pueden agregar al panel de TB, se trata de un mapa donde se fija la ubicación geográfica de las instalaciones donde se encuentra el proyecto, en este caso en la Vinícola La Reina, del Valle de Guadalupe, B.C., México.

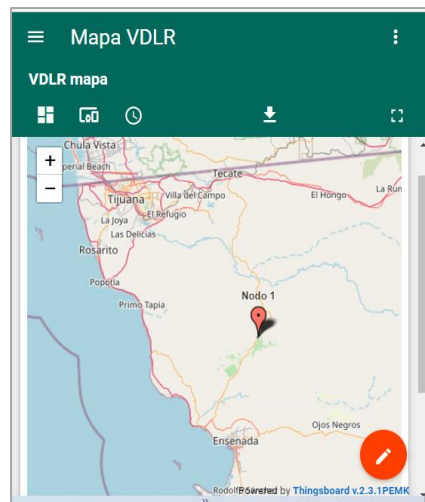


Fig. 11. Ubicación del campo de cultivo de la vinícola de interés mostrado en ThingsBoard.

Cuando TB recibe la telemetría del campo, decodifica los datos del dispositivo del que proviene identificado por el TOKEN empleado en la conexión, y procede en alimentar al *dashboard* asociado a dicho TOKEN que se haya configurado con los widgets particulares. Y como ya se mencionó, en el AgroNodo los datos de humedad del suelo son medidos a cuatro profundidades, y en el *dashboard* se identifican por colores como se muestra en la Fig. 12.

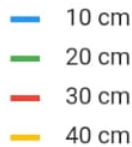


Fig. 12. Colores que indican la profundidad de las mediciones de humedad del suelo en las gráficas históricas siguientes.

En el entendido que los operadores de la vinícola estarían en labores que requieren movilidad, el *dashboard* de TB se diseñó con el fin de que sea visto en un teléfono móvil, por lo que el acomodo en el ambiente “responsivo” de la aplicación web que es el *front-end* de ThinsBoard, se dispusieron las gráficas y controles en vista vertical por la naturaleza de las pantallas de los teléfonos inteligentes actuales.

En la Fig. 13 se presenta el panel TB del Nodo 1 en la vista de un teléfono móvil, que muestra los primeros 35 minutos del riego. Se nota que en el inicio ocurrió un falso contacto del sensor SMT100 a 20 cm (línea verde), que luego se estabilizó, notando un valor sospechoso del 20%, por encima de lo que mide el sensor más cercano a la superficie.



Fig. 13. Inicio de la medición y del riego por goteo.

En la Fig. 14, se muestra el panel del Nodo 1 abarcando ocho días de operación, se observa que el sensor a 20 cm falló durante los primeros dos días hasta que se le dio mantenimiento correctivo a su conexión. También se observa que a las profundidades de 20 cm y 30 cm (línea roja), la humedad permea con facilidad, pero no hasta los 40 cm (línea amarilla). Esto se puede deber a la compactación del suelo, pues un arado solo levanta las capas superiores del sustrato, y además, en el sitio hay piedra por debajo a partir de esa profundidad, según comentarios del encargado. En la Fig. 14, los tres eventos del riego (11/08, 13/08 y 17/08) se notan en los picos que sobresalen, y se observa que hasta el tercer evento de riego (en el día 17/08) es cuando la humedad logra permear hasta los 40 cm. Parte de la información que se desconocía era el tiempo que dura el goteo en permear hasta las capas inferiores del subsuelo, o donde se ubican las raíces. Ahora se tiene otra manera de obtener dicha información en tiempo real a través de este panel de Thingsboard.

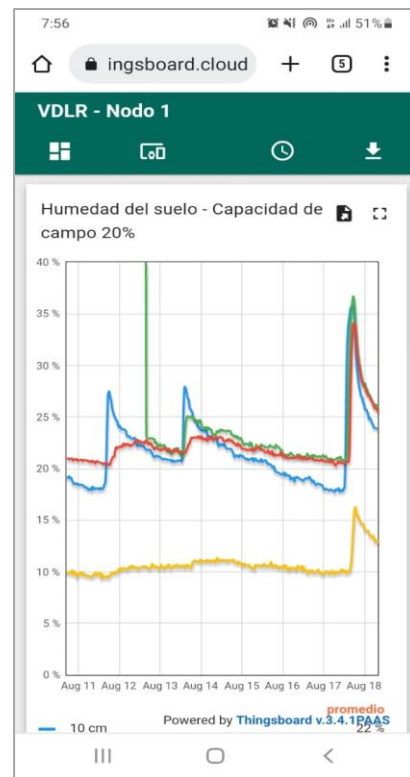


Fig. 14. Vista de la gráfica histórica de la medición de humedad del suelo de ocho días de operación.

En la Fig. 15, se muestra el acercamiento de la gráfica anterior, donde se expresa el porcentaje de humedad contenida en el suelo o SM (del inglés *Soil Moisture*), correspondiente al día 17/08. Esto permite ver que el riego inició a las 12:30 horas aproximadamente, y que la humedad logró penetrar hasta los 40 cm (en amarillo) poco antes de las 14:00 horas, cuando empezó el incremento a partir de un valor inicial de 10% y llegó a su máximo de 16% de humedad a las 18:00 horas cuando se dejó de gotear.

A partir de los datos obtenidos, se infiere que durante el tercer evento de riego por goteo, el cual representa la gráfica de la Fig. 15, la humedad tardó una hora y media para penetrar hasta los 40 cm, y llegó a su máximo dos horas después, cuando se desactivó el riego. Es decir, se tomaron decisiones informadas en la conmutación del riego. La utilidad de las mediciones de humedad del suelo va más allá de observar los eventos de riego, pues aunque no se esté realizando el riego, el *dashboard* es una herramienta eficaz para determinar la carga hídrica del suelo, aún días después de regar o del paso de las lluvias.

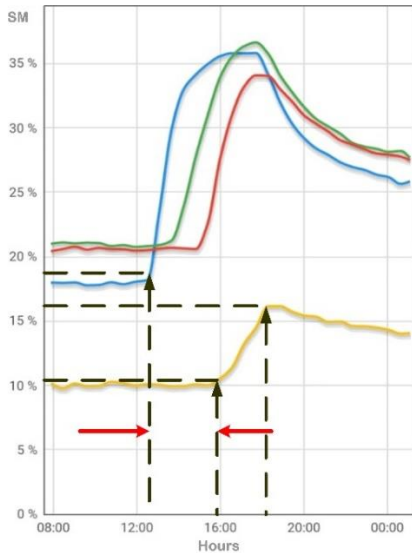


Fig. 15. Acercamiento de mediciones de humedad del suelo del tercer evento de riego (del 17/08) que se observa en TB.

En una publicación anterior [11] se abordó el tema del grado de retención de humedad del suelo de acuerdo con el tipo de sustrato, donde se explica que dichas propiedades de los sustratos se han estudiado ampliamente y se han caracterizado los valores óptimos de humedad del suelo para la alimentación de las plantas vegetales. Para el sustrato que aquí interesa, de la región del Valle de Guadalupe, B.C., el tipo de suelo es una combinación de arena y tierra magra (o aquella que tiene un alto contenido de material orgánico) en proporciones similares, el rango recomendado de humedad para dicho tipo de suelo es de entre 12% y 20%. Por lo que en la gráfica de la Fig. 15 se denota que el porcentaje de humedad del suelo a 40cm de profundidad logra un valor en el límite inferior de dicho rango, y también sugiere que faltaría otro evento de riego en el día subsecuente para que tal porcentaje de humedad pueda llegar un rango óptimo.

5.2 Tanques de fermentación: Tableros de Control Térmico

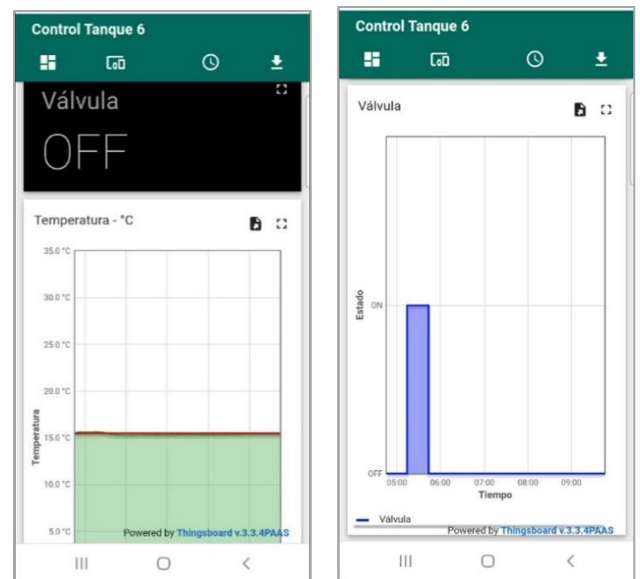
El otro tipo de tablero hecho en TB es para el proceso de fermentación, se realizó para recibir telemetría de los controladores Enoc ya descritos (de la empresa local AgroIoT), y que fueron instalados para el control de temperatura de los tanques fermentadores. A dicho tablero se le agregaron controles para permitir el ajuste del *Setpoint* de control de temperatura, y para accionar el envío de la solicitud al Enoc para que fije el valor y conteste a Thingsboard con la

confirmación del ajuste. De la Fig. 16 a la Fig. 20 se muestra el *dashboard* en un teléfono móvil, en sus diferentes secciones recorriendo la pantalla con su “scroll”. Se muestra lo siguiente, en la Fig. 16(a) la temperatura medida y una perilla virtual para ajustar el valor del *Setpoint*; en la Fig. 16(b) se ve el valor actual del *Setpoint* y el botón que habilita fijar el nuevo *Setpoint*; en la Fig. 17(a) muestra el estado de la válvula (ON/OFF) y la gráfica histórica de temperatura; en la Fig. 17(b) se observa la gráfica histórica del estado de la válvula.



(a) (b)

Fig.16. (a) En la carátula de la aplicación muestra la temperatura y la perilla para ajustar al *Setpoint*, (b) recorriendo la vista aparece el *Setpoint* actual y un botón para fijar el nuevo *Setpoint*.



(a) (b)

Fig. 17. (a) Recorriendo por segunda vez la vista aparece el estado de la Válvula y la gráfica histórica de temperatura, y más adelante (b) muestra la gráfica histórica del estado de la válvula de glicol.

Cabe mencionar que el ajuste del rango de tiempo que se desea observar se hace desde el control de tiempo, cuyo ícono es un reloj en la parte superior derecha de la carátula del *dashboard*. En el ejemplo, el rango de tiempo que se ve es de las últimas 5 horas.

La temperatura a la que se fermenta el jugo de uva la se selecciona el Enólogo encargado del proceso según su criterio, y eso depende de la variedad de uva que se trata y del tipo de vino que se quiere producir. En el siguiente ejemplo se presenta un proceso de fermentación a muy baja temperatura, en este caso con un Setpoint de 2.6 °C, lo cual usualmente se hace en la producción de vino blanco. En la Fig. 18 se muestra la gráfica histórica de la temperatura controlada de dicho ejemplo, y en la Fig. 19 se muestra la actividad de la válvula que hace circular el refrigerante dentro del tanque.

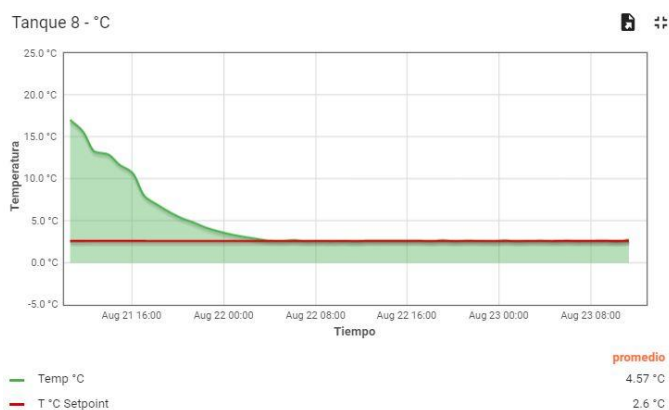


Fig. 18. Gráfica histórica de temperatura de dos días vista en TB del Tanque 8, donde el *Setpoint* está fijo a 2.6 °C.

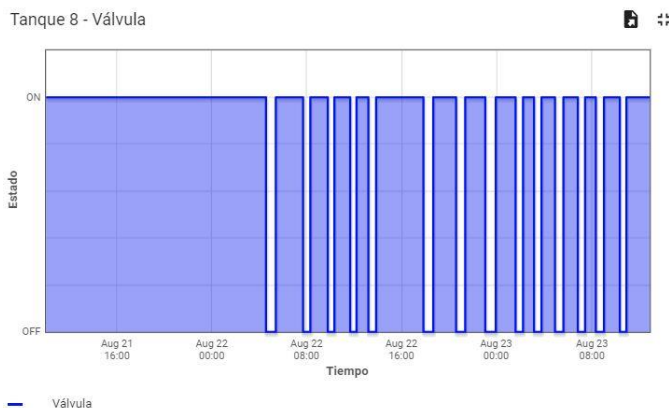


Fig. 19. Gráfica histórica de la actividad de dos días de la válvula de glicol del Tanque 8.

En la gráfica histórica de temperatura del Tanque 8 de la Fig. 18 se observa que el jugo de uva logró la temperatura del *Setpoint* después de 16 horas de actividad continua del paso de glicol por la electroválvula, esto último se confirma en el estado de la válvula de la Fig. 19. Las intermitencias de actividad de válvula reflejan las acciones de control ON/OFF que realiza el EnoC.

6. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo no hubiera sido posible sin el permiso y la ayuda de Viñedos de la Reina, del Valle de Guadalupe, B.C. México. Por lo que les agradecemos a la gerencia y al personal que labora en Viñedos de la Reina por permitirnos acceso a sus instalaciones y equipos de fermentación. También por permitirnos compartir los datos generados por sus procesos, y que aquí se divulgan.

7. CONCLUSIONES

Aquí se presentó el trabajo realizado para integrar un ambiente de Internet de las cosas aplicado a la producción vitivinícola, con el fin de otorgar acceso a los datos a distancia a los usuarios y operadores de los procesos en el campo de cultivo con riego por goteo, y de los procesos de fermentación requeridos para producir vino mediante control de temperatura.

En el monitoreo del campo de cultivo, el enfoque fue observar el porcentaje de humedad del sustrato a diferentes profundidades. El panel en TB fue útil para observar el grado de retención hídrica del suelo y el tiempo que la humedad tarda en penetrar hasta las raíces de las parras. En el caso presentado se observó poca absorción a los 40 cm de profundidad, y se explica considerando que, en el viñedo donde se realizaron las mediciones, se tiene evidencia que por debajo del sustrato hay una capa de piedras y debajo de eso existe roca sedimentaria compactada, es de esperar entonces poca penetración del agua en la profundidad, y las mediciones lo confirman. Lo anterior se infiere por el uso de los sensores y por lo datos reflejados en el panel de TB.

Por otro lado, en la segunda mitad de este trabajo, que involucra monitoreo y control del proceso de fermentación desde TB, la combinación del EnoController (de la empresa AgroIoT de México) y los tableros en TB hechos a la medida para recibir la telemetría, representan un sistema compuesto novedoso e innovador para la producción de vino. Esto es porque a distancia, el enólogo o gerente de producción tiene la capacidad de modificar el *Setpoint* del control de temperatura a través de los instrumentos virtuales o “widgets” de Thingsboard.

8. REFERENCIAS

- [1] López, Cristina & Solana-González, Pedro & Vanti, Adolfo. (2022). Industria 4.0: la transformación digital de las empresas.
- [2] Masetti, G., Marazzi, F., Cecilia, L.D., & Rovati, L. (2018). IOT-Based Measurement System for Wine Industry. 2018 Workshop on Metrology for Industry 4.0 and IoT, 163-168.
- [3] Emanuele Bonamente, ET. AL. 2015. The Water Footprint of the Wine Industry: Implementation of an

Assessment Methodology and Application to a Case Study. Sustainability Open Access Journal. 12190-12208; doi: 10.3390/su70912190

[4] E. Kudryashova E., m. Casetti. The Internet of Things - the Nearest Future of Viticulture. AGRIS on-line Papers in Economics and Informatics Jun 30, 2021. DOI 10.22004/ag.econ.320259

[5] Alexandre Bastard¹ and Audrey Chaillet. Digitalization from vine to wine: Successes and remaining challenges - A review. BIO Web of Conferences 68, 01034 (2023) 44th World Congress of Vine and Wine.

[6] J.C., Sá., Luís, Pinto, Ferreira., Teresa, Dieguez., José, Carlos, Sá., Francisco, Silva. (2021). Industry 4.0 in the Wine Sector – Development of a Decision Support System Based on Simulation Models. 371-384. doi: 10.1007/978-3-030-78170-5_32

[7] Manual. Series TS2 Digital Temperature Switch. Specifications - Installation and Operating Instructions. DWYER INSTRUMENTS INC.
https://www.blichmannengineering.com/media/wysiwyg/UpdatedManuals/T_TS2.pdf

[8] T. Domínguez-Bolaño, et. Al. An overview of IoT architectures, technologies, and existing open-source projects. Journal: Internet of Things, Volume 20, November 2022, 100626. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2022.100626>

[9] Thingsboard, Inc. What is ThingsBoard? 2023.
<https://thingsboard.io/docs/getting-started-guides/what-is-thingsboard/>

[10] ThingsBoard Inc. ThingsBoard Architecture. 2023.
<https://thingsboard.io/docs/reference/>

[11] César Ortega-Corral, Florencio López Cruz, Laura Rocío Díaz-Santana Rocha. Caracterización y pruebas de sensores del tipo reflecto-métrico del dominio del tiempo para medir humedad del suelo en riego por goteo. Vol. 8 Núm. 16 (2021) Número Especial de la Revista Aristas Ciencia Básica y Aplicada. UABC. México.

[12] Digi International Inc. (2018). XBee/XBee-PRO DigiMesh 2.4 RF Module User Guide.

[13] SMT100 Soil Moisture Sensor. 2018. Data sheet.
http://www.truebner.de/sites/default/files/SMT100_Flyer_A4_english.pdf

[14] JSON JavaScript Object Notation.
<https://www.json.org/json-en.html>