

# IoT System Infrastructure Design for Management of Specialized Engineering Education Laboratories

Jorge E. Mendoza, Master's Student<sup>1</sup> y Danny S. Zelada Mosquera, Master<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Universidad Privada del Norte, Perú, jorge.mendoza@upn.edu.pe, danny.zelada@upn.edu.pe

*Abstract— The present research work is based on the design of an integral management system that links two fundamental perspectives of a specialized engineering teaching laboratory; The first being the internal functioning of the environment, which includes records of use and maintenance of equipment, consumption of supplies, training of user personnel, entry and exit of PPE's and low assets; and the second, the indicators of the specialized engineering laboratory as part of a university campus, such as the use of the environment, the number of hours used for the development of classes in comparison with those used for the development of research work, the energy expenditure of the environment and the management of access to it. Seen in this way, the management of a specialized laboratory within a university campus is a shared responsibility between the academic area of management of specialized environments (laboratory supervisor) and the area of academic campus operations, both having to report to the different administrative areas. that require information from the specialized laboratory for various purposes, such as infrastructure maintenance, generation of quality indicators, use analysis for projections to subsequent periods, etc. This can result, and does indeed result, in redundant requests for information to both areas. It is in consideration of these factors and requirements that it is decided to design, based on the current flow of information, a comprehensive management system that allows monitoring, recording and in specific stages, automate the management processes of the specialized laboratory; Through the design and simulation of the integral system, the times that can be optimized through this and its respective cost have been calculated, either in energy and/or man-hours, as well as the necessary considerations for its implementation in another environment type. Thus, the main advantages of the system have been found to be the automation of access to the environments through the NFC identification of the teacher or authorized users, simultaneously generating an automatic record of the same and linking the activity of the laboratory with the enabling electrical power outlets and activating lights, projectors and computers to optimize energy consumption in the environment and generating accurate data on its use, data that will be complemented by the other part of the system, which records information on the equipment and materials used During the class session, this second stage of the system has the laboratory supervisor as administrator, who can also use it to record the entry of new equipment, removal and maintenance of these, thus feeding a database of both assets, as well as records of use in order to allow related areas to access this updated information in time. real po without the need to make a new information request.*

Keywords— IoT, Asset management, Facility Management, Process optimization, Energy efficiency

**Digital Object Identifier:** (only for full papers, inserted by LACCEI).  
**ISSN, ISBN:** (to be inserted by LACCEI).  
**DO NOT REMOVE**

# Diseño de Infraestructura de Sistema IoT para Gestión de Laboratorios Especializados de Enseñanza en Ingeniería

Jorge E. Mendoza, Maestrando<sup>1</sup>  y Danny S. Zelada, Maestro<sup>2</sup> 

<sup>1,2</sup>Universidad Privada del Norte, Perú, jorge.mendoza@upn.edu.pe, danny.zelada@upn.edu.pe

**Resumen**— El presente trabajo de investigación se basa en el diseño de un sistema integral de gestión que enlaza dos perspectivas fundamentales de un laboratorio especializado de ingeniería; siendo la primera, el funcionamiento interno del ambiente, el cual comprende registros de uso y mantenimiento de equipos, consumo de suministros, capacidades del personal usuario, ingreso y salida de epp's y activos de baja; y la segunda, los indicadores del laboratorio especializado de ingeniería como parte de un campus universitario, como pueden ser, el uso del ambiente, la cantidad de horas usadas para el desarrollo de clases en comparación con las usadas para el desarrollo de trabajos de investigación, el gasto energético del ambiente y la gestión de acceso al mismo. Visto de esa manera, la gestión de un laboratorio especializado dentro un campus universitario es una responsabilidad compartida entre el área académica de gestión ambientes especializados (supervisor de laboratorio) y el área de operaciones académicas de campus, ambas teniendo que reportar a las diferentes áreas administrativas que requieran información del laboratorio especializado para fines varios, como mantenimiento de infraestructura, generación de indicadores de calidad, análisis de uso para proyecciones a períodos posteriores, etc. Esto puede resultar y en efecto resulta, en solicitudes redundantes de información a ambas áreas, es en consideración de estos factores y requerimientos, que se opta por diseñar, basado en el flujo actual de información, un sistema de gestión integral que permita monitorear, registrar y en etapas específicas, automatizar los procesos de gestión del laboratorio especializado; a través del diseño y simulación del sistema integral se han calculado los tiempos que se pueden optimizar a través de este y su respectivo costo, ya sea en energético y/o de horas/hombre, así como también las consideraciones necesarias para su implementación en otro tipo de ambiente. Es así que se han encontrado como las principales ventajas del sistema la automatización del acceso a los ambientes a través de la identificación por NFC del docente o usuarios autorizados, generando a la vez, un registro automático del mismo y vinculando la actividad del laboratorio con la habilitación de tomas de energía eléctrica y activación de luminarias, proyectores y computadores para optimizar el consumo energético del ambiente y generando data precisa de su uso, data que se complementará con la otra parte del sistema, que registra la información de los equipos y materiales usados durante la sesión de clase, esta segunda etapa del sistema, tiene como administrador al supervisor de laboratorio, que podrá usarla también para registrar el ingreso de nuevos equipos, baja y mantenimiento de estos, alimentando de esta manera una base de datos tanto de activos, como de registros de uso con la finalidad de permitir a las áreas relacionadas acceder a esta información actualizada en tiempo real sin necesidad de hacer un nuevo requerimiento de información.

**Palabras clave**—IoT, Gestión de activos, Gestión de Instalaciones, Optimización de procesos, Eficiencia energética.

## I. INTRODUCCIÓN

La necesidad de una mejora continua en los diversos procesos de gestión ha sido una necesidad en constante evolución desde los tiempos de la revolución industrial, con el paso del tiempo, ha sido la industria quien ha marcado la pauta en lo que respecta a implementación de tecnología para suplir estas necesidades, manteniendo esta tendencia hasta la actualidad, generando paradigmas como la inteligencia de negocios basada en IoT, Internet de las cosas por sus siglas en inglés, de donde nace el concepto de Industria 4.0, en donde, basándose en esta y otras tecnologías, han dejado de limitarse a automatizar procesos para centrarse en la automatización del flujo de información para permitir una toma de decisiones óptima, basada en data que ya no depende del factor humano para llegar a un reporte de gerencia.

Es por ello por lo que, actualmente y desde un campus universitario, en donde, de acuerdo con Cabeza et al. (2002) existe relación entre los conceptos de procesos universitarios y los conceptos generales de insumos, procesos y productos [1], en este orden de ideas, se puede considerar al estudiante como cliente principal; de esta manera, se puede denotar la necesidad continua y cambiante de generación, manejo y optimización de indicadores de calidad, cuya data de origen no requiera atravesar un cuello de botella generado por el factor humano para llegar a gerencia; de esta manera, el presente estudio se enfoca en un área específica de un campus universitario, los laboratorios especializados, tomando para las consideraciones específicas, el laboratorio de electrónica de la Universidad Privada del Norte en su sede de San Isidro - Trujillo, Perú.

Es así, que considerando a los laboratorios especializados como un sector dentro del campus universitario con sus propios subprocesos y flujos de información con los otros sectores de la universidad, es posible diferenciar dos perspectivas principales desde las que se puede analizar a un laboratorio especializado, interna y externa; la primera comprende elementos como la gestión de uso de los equipos, insumos y herramientas; ingreso, mantenimiento y baja de activos, así como también, gestión de la seguridad, mientras que la segunda, aborda al laboratorio especializado como parte del campus universitario, teniendo en cuenta aspectos como acceso al

## II. METODOLOGÍA

mismo por parte de los usuarios y personal autorizado, gestión de consumo energético y registro del uso del ambiente.

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, se debe considerar que tanto el enfoque interno, como el externo, generan datos e indicadores que son requeridos por las diversas áreas de gestión de la universidad, ya que de acuerdo con Rodríguez (2014) los indicadores de gestión son indispensables para poder controlar, evaluar y en algunos casos, direccionar las acciones dentro de una entidad universitaria y aún más importante, permiten poseer información objetiva para realizar revisiones del origen de resultados que se encuentren muy alejados de lo esperado [2] por lo que el flujo que estos sigan desde su generación hasta su interpretación en los reportes se vuelve esencial para la calidad; en este escenario nos encontramos con tareas básicas y flujos de información basados en el factor humano, que a su vez, se ven afectadas por solicitudes redundantes de información, ya que los procesos internos están más relacionados con el área académica, mientras que los externos están más relacionados con administración de campus, dándose escenarios en donde la misma información. P. ej. La información concerniente al inventario de equipos, puede llegar a ser solicitada en múltiples ocasiones por diversas áreas, dado que se requiere en formatos distintos para la generación de indicadores específicos; con lo que, se vuelve necesario recurrir a la solución que la industria encontró para optimizar estos procesos, la integración de IoT al flujo de información y la automatización de los registros que generan la data que dará origen a los indicadores de gestión.

La integración de IoT en los procesos de acuerdo con Ramos (2021), en su estudio “Servicio de monitorización de aulas mediante dispositivos IoT con gestión de datos en la nube de Azure” en donde implementó un sistema de monitoreo de gases y calidad de aire en aulas de un campus universitario obteniendo como resultado que a través de la implementación de este tipo de sistemas es posible obtener data remotamente en tiempo real sin depender del factor humano [3].

De momento no se han enfocado diseños de sistemas de este tipo a entornos tan específicos como lo pueden llegar a ser los laboratorios especializados de un campus universitario por lo que el presente estudio, organizado en tres partes, abarcará en la primera, el análisis de las estructuras de gestión que conforman a los laboratorios especializados, definiéndolas y parametrizando sus procesos para lograr un esquema del flujo de información; en la segunda, basándose en este esquema, se generará el diseño de la infraestructura IoT que permitirá automatizar este flujo de información y en la tercera, teniendo en cuenta para los elementos que lo requieran, las necesidades específicas del laboratorio de electrónica de la sede de Trujillo – San Isidro de la Universidad Privada del Norte, se propondrán las tecnologías que podrían conformar esta infraestructura.

Para poder establecer una propuesta de diseño de un sistema funcional es necesario conocer primero el entorno en el que se va a desplegar, por lo que, es necesario iniciar esquematizando el flujo de información que el sistema deberá automatizar y/o registrar.

### A. Análisis del flujo de información

La localización geográfica de los diferentes puntos que se comunican puede generar canales comunicación poco sólidos y en ausencia de códigos comunes, puede afectar negativamente al flujo de información de acuerdo con Corona y Hernández (2000) [4], por lo que es necesario identificar las áreas con las que un laboratorio especializado mantiene comunicación y el tipo de información que se transmite.

En la Universidad Privada del Norte, un laboratorio especializado mantiene comunicación directa y constante principalmente con las áreas de Academia, encargada de la gestión del proceso de enseñanza-aprendizaje; Administración de Campus, encargada de la gestión de infraestructura y energía; el área de Operaciones académicas, encargada de la gestión general de planes operativos y uso de ambientes académicos; y el área de D.A.C.I. (Dirección de aseguramiento de la calidad institucional), encargada de la gestión de la calidad; la comunicación con estas áreas es bidireccional, ya que los laboratorios especializados deben cumplir con los lineamientos de calidad, seguridad e implementación que establezcan las áreas mencionadas, mientras que a su vez, estas solicitan información que les permita generar indicadores de gestión y evidencias de calidad.

Con respecto al tipo de información, es necesario diferenciar la información dirigida a los laboratorios especializados y la información solicitada a estos, ya que la información dirigida a los laboratorios desde las áreas anteriormente mencionadas tiene una baja tasa de variabilidad en el tiempo, ya que esta información está conformada en su mayoría por formatos y lineamientos a seguir, que se encuentran publicados en el repositorio de formatos y manuales de procesos y el área de laboratorios puede acceder en todo momento; mientras que la información solicitada a los laboratorios sí puede variar debido a las prácticas que se realizan diariamente, P. ej. El inventario de activos del laboratorio puede cambiar si algún equipo ha sufrido desperfectos durante su uso, variando a su vez, el programa de mantenimientos de ese año, agregándole un correctivo o eliminando el activo del inventario a través de la baja de éste; si ha ocurrido un incidente que haya requerido el uso de algún insumo del botiquín de primeros auxilios, también estaría variando el inventario de insumos del botiquín, el registro de incidencias del laboratorio e incluso un indicador de calidad muy importante que es el de incidentes en laboratorios especializados, ya sea a nivel de sede o a nivel de todas las sedes; de la misma manera el

consumo de los insumos relacionados a las prácticas de laboratorio y por último, el registro de uso del laboratorio que varía cada día.

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, se podría esquematizar la primera parte del flujo de información como se muestra en la Fig. 1.

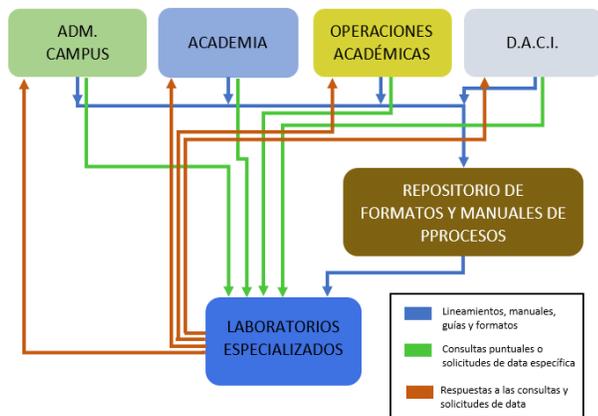


Fig. 1 Diagrama de flujo de información de laboratorios especializados.

Si se analiza la Fig. 1, se podría estimar un flujo de información uniforme en ambos sentidos pero se debe tomar en cuenta que en un campus universitario, el número de laboratorios especializados es proporcional a la cantidad de programas profesionales y se encuentra en constante crecimiento, el cual a su vez responde a la expansión de la universidad, renovaciones o actualizaciones de planes de estudio; por lo que tendríamos un proceso en el cual, es necesario adquirir data de múltiples puntos activos, lo cuales cuentan con un supervisor, que a su vez, tiene responsabilidades adicionales a la de reportar, por lo que el tiempo de respuesta de cada uno de los puntos activos, que representan a los laboratorios especializados, puede variar; al respecto, se puede esquematizar internamente el bloque de laboratorios especializados mostrado en la Fig. 1 como se aprecia en la Fig. 2.

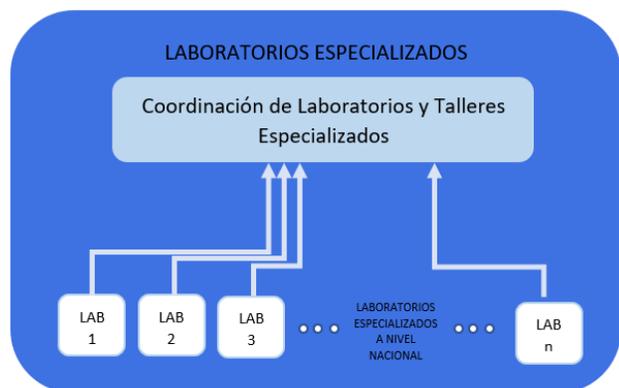


Fig. 2 Diagrama interno del bloque laboratorios especializados.

En la representación que se puede ver en la figura 2, se puede entender de mejor manera la saturación que se puede alcanzar al requerir data basada en las actividades de cada uno de los laboratorios especializados, ya que, la coordinación de laboratorios y talleres especializados supervisa las labores de los laboratorios a nivel nacional.

De acuerdo con Ríos e Iza (2005) se puede comparar este tipo de procesos administrativos con los procesos industriales en donde se reúne, en una tubería matriz, fluido impulsado por múltiples bombas de manera convergente, dando como resultado un cuello de botella que provoca que el flujo total obtenido sea menor a la suma de los flujos independientes de cada bomba [5]; posteriormente Ríos e Iza (2005) al realizar la analogía con los equipos de trabajo a través de su análisis del comportamiento humano, denota que un equipo de trabajo será tan eficiente como su colaborador menos eficiente y además resaltando que este rol es dinámico dentro del equipo [5].

Teniendo en consideración lo mencionado anteriormente debemos valorar que la industria, así como con problema del flujo convergente en las tuberías, también ha encontrado la solución a los cuellos de botella basados en información dependiente del factor humano con la integración del paradigma internet de las cosas (IoT), a través del cual, delega la gestión de la data generada en los procesos, así como también, tareas de baja complejidad y parámetros de operación conocidos, a sistemas electrónicos e informáticos embebidos dedicados únicamente a esa labor; teniendo como apoyo los trabajos de Taipei (2018) [6] y también el de Portocarrero (2017) [7], en donde han experimentado a través de la implementación de sistemas de este tipo, la optimización en la gestión de información y en la gestión de energía respectivamente.

Con el fin de parametrizar los sistemas que se harían cargo del flujo de información, es necesario definir las actividades que generan la data, de cuya gestión automatizaría; para ello se retomará la perspectiva de análisis del laboratorio especializado como proceso dual, en el cual se evaluarán los procesos internos y externos mencionados al inicio de este estudio y el detalle de la data que estos aportan al flujo de información mostrado en la figura 1; para ello es necesario iniciar por listarlos, este listado se puede apreciar en la tabla 1.

TABLA I  
DATA GENERADA POR CADA ACTIVIDAD SEGÚN EL TIPO DE PROCESO

TIPO DE PROCESO	DATA	ACTIVIDAD
PROCESOS INTERNOS	Registro de uso de equipos	Soporte en el desarrollo de actividades académicas
	Registro de uso de materiales	Soporte en el desarrollo de actividades académicas
	Registro de capacitaciones de uso, buenas prácticas y seguridad en el	Gestión de la seguridad

	laboratorio	
	Inventario de equipos	Gestión de patrimonio
	Registro de mantenimiento	Gestión de patrimonio
	Inventario de materiales	Gestión de patrimonio
	Inventario de herramientas	Gestión de patrimonio
	Inventario de EPP	Gestión de la seguridad
	Inventario de equipamiento y material de primeros auxilios	Gestión de la seguridad
	Proyecciones para adquisición de equipos	Gestión de patrimonio
	Proyecciones para adquisición de materiales	Gestión de patrimonio
	Proyecciones para adquisición de herramientas	Gestión de patrimonio
PROCESOS EXTERNOS	Registro de uso del laboratorio	Gestión de acceso al ambiente
	Registro de consumo energético	Gestión del consumo energético
	Registro de uso de suministros académicos generales	Gestión de suministros académicos generales

Teniendo en cuenta el listado de actividades presentado en la Tabla 1, es necesario definir los términos de la data y las actividades, para de esa forma poder convertirlos en tareas para el sistema IoT:

1) *Registros de uso de Equipos y Materiales:* Comprende la descripción del equipo o material, la marca, modelo y serie, en el caso de los equipos; la cantidad que se haya usado, el asistente o supervisor de laboratorio que autoriza y el usuario.

2) *Registro de Capacitaciones de Uso, Buenas Prácticas Y Seguridad del Laboratorio:* Es la relación de asistentes a la capacitación sobre los protocolos de seguridad del laboratorio, brindada por el asistente o supervisor de laboratorio.

3) *Registro de Mantenimiento:* Comprende una relación de los equipos y herramientas del laboratorio que requieren mantenimiento, su fecha de adquisición, su tiempo de vida, las fechas de sus mantenimientos anteriores, la frecuencia de mantenimiento, la fecha de vencimiento del último mantenimiento, su costo y el proveedor que brinda el servicio.

4) *Inventarios:* Son una relación de bienes con sus respectivas especificaciones, ubicación y existencias

5) *Proyecciones:* Son listados de ítems que conformarán un requerimiento, teniendo en cuenta el consumo de materiales y suministros, así como también, la adquisición y baja de activos y herramientas.

6) *Registros de Uso del Laboratorio y de Consumo de Suministros Académicos Generales:* Este registro se diferencia de los definidos previamente en que en este se detalla el consumo de materiales y suministros que no son

parte del laboratorio como ambiente especializado, sino mas bien, aquellos que son parte de un salón de clase estándar, como podrían ser: marcadores, pizarra, proyectores, ordenadores, conexiones eléctricas, puntos de acceso a internet, etc. De la misma manera, el registro de uso detalla la hora y motivo por el cual se hizo uso del laboratorio especializado.

7) *Registro de Consumo Energético* Actualmente este registro se forma a través de mediciones indirectas, ya que el área de administración de campus controla el consumo energético por piso o por pabellón.

8) *Soporte en el Desarrollo de Actividades Académicas:* Es responsabilidad del asistente o supervisor de laboratorio, dar soporte al docente durante el desarrollo de su sesión de laboratorio, con respecto al uso de equipos, así como también, materiales y herramientas.

9) *Gestión de la Seguridad:* Son las actividades de seguridad encargadas al asistente o supervisor de laboratorio, como: Mantener actualizada y legible la señalética de seguridad, mantener actualizada la versión impresa de los protocolos de seguridad y matriz IPERC, brindar capacitaciones sobre los protocolos de seguridad a docentes y estudiantes, gestionar los equipos materiales de primeros auxilios y equipo de protección personal.

10) *Gestión de patrimonio:* Administrar el acceso al patrimonio de la universidad por parte de usuarios autorizados, así como también, mantenerlo en estado óptimo.

11) *Gestión de Acceso al Ambiente:* Permitir el acceso a personal y usuarios autorizados en el horario establecido por academia.

12) *Gestión de Consumo Energético:* A cargo de administración de campus, se refiere al acceso de energía eléctrica para el ambiente; actualmente recibe un flujo continuo de energía.

13) *Gestión de Suministros académicos Generales:* A cargo de operaciones académicas, se refiere a la gestión y soporte de materiales y equipos académicos de propósito general.

Conociendo de esta manera los procesos que conforman la gestión de un laboratorio especializado, es posible evaluar cuál de ellas es viable para una implementación de IoT que permita la transmisión instantánea de esta data y el análisis de esta para la generación de indicadores.

#### B. Propuesta de Diseño de Infraestructura IoT

Conociendo la data y los procesos que conforman la gestión de un laboratorio especializado, es posible seleccionar aquellas que permitirían la integración de un sistema automatizado y que a través de esa automatización, sea capaz de remitir la data al flujo de información conocido, con la finalidad de mitigar el efecto de cuello de botella generado por el factor humano, es posible remitirse al estudio de Crespo (2021), en donde señala dos factores fundamentales en el paradigma "Facility Management", el

primero es el registro de la data generada en un CMMS (Computerized Maintenance Management System), sistema de gestión computarizada del mantenimiento, por sus siglas en inglés; mientras que el segundo es la integración de IoT para la obtención de esta data [8].

Teniendo en consideración la naturaleza de las actividades que generan la data listada en la tabla 1, se pueden diferenciar tres tipos de proceso comunicación, a través del cual, se daría tratamiento o se realizaría la adquisición de esa data.

1) *Procesos tipo 1*: Son los procesos en donde la única variación que se realizaría con respecto a un registro manual es que el supervisor/asistente de laboratorio ingresaría su data directamente al CMMS y ya no a un registro estático.

2) *Procesos tipo 2*: Son los procesos en donde se dejará de registrar manualmente la actividad, en su lugar, el registro se realizará a través de un dispositivo IoT que permita que la data concerniente al registro de esa actividad esté disponible de manera inmediata en el CMMS durante la ejecución de la actividad.

3) *Procesos tipo 3*: Son los procesos en los cuales se automatizará la actividad, permitiendo que el registro se genere y envíe al CMMS de manera autónoma, removiendo por completo el factor humano.

Teniendo en consideración los tipos de procesos definidos, es posible diagramar el esquema de comunicaciones del sistema IoT de gestión de laboratorios como se puede ver en la Fig. 3.

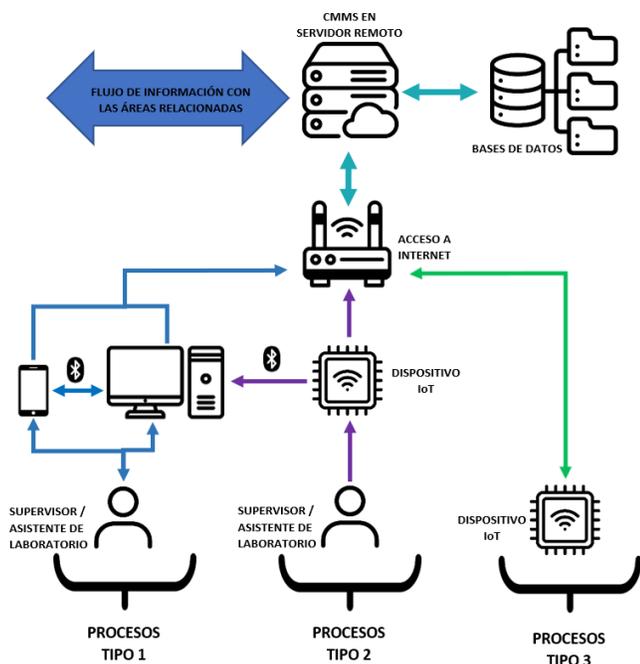


Fig. 3 Esquema de comunicaciones de sistema IoT para gestión de Laboratorio especializado.

Habiendo definido los tipos de proceso y esquematizado las comunicaciones dentro del sistema, se

obtiene un flujo de información automatizado o semiautomatizado (dependiendo del tipo de proceso) con lo que se vuelve necesario categorizar la data dentro de su respectivo tipo de proceso para de esta manera poder dimensionar las capacidades que requiere el sistema para cumplir con el diagrama de comunicaciones que se muestra en la Fig. 3, esta categorización se puede ver en la tabla II.

TABLA II  
CATEGORIZACIÓN DE DATA DE ACUERDO CON SU TIPO DE PROCESO DE COMUNICACIÓN

TIPO 1	TIPO 2	TIPO 3
uso de materiales	uso de equipos	registro de uso del laboratorio
registro de capacitaciones en uso, buenas prácticas y seguridad en el laboratorio	inventario de equipos	registro de consumo energético
registro de mantenimiento	inventario de herramientas	registro de uso de suministros académicos generales (parcial)
inventario de materiales	registro de uso de suministros académicos generales (parcial)	
inventario de EPP		
inventario de equipamiento y material de primeros auxilios		
proyecciones para adquisición de equipos		
proyecciones para adquisición de materiales		
proyecciones para adquisición de herramientas		

Es posible, tomar la data de la tabla II como un listado de requerimientos para los subsistemas que conformarán los procesos de comunicación de los tres tipos:

1) *Consideraciones para diseño de subsistemas de procesos de comunicación tipo 1*: En los procesos de comunicación de este tipo únicamente se está variando el entorno en el que se deposita la data por parte del supervisor/asistente del laboratorio, por lo cual, la única consideración sería que la interfaz de usuario esté disponible tanto para ordenador, como para móvil.

2) *Consideraciones para diseño de subsistemas de procesos de comunicación tipo 2*: En este caso y como muestra la Fig. 3, existe un dispositivo IoT que asiste al supervisor/asistente de laboratorio en el registro de la data, permitiendo a su vez que esta esté disponible en tiempo real en el CMMS; las cuatro tareas listadas en la segunda columna de la tabla II están relacionadas con equipos, herramientas o suministros, por lo que se vuelve una tarea de identificación de ítems, permitiendo recurrir a las

tecnologías más comúnmente usadas para ese fin, como son los códigos de barras y las etiquetas NFC, algunos de los activos ya cuentan con código de barras, mientras que para el caso de las herramientas y algunos suministros que aún no están identificados, sería más conveniente usar NFC, por el nivel de manipulación que estos experimentan; ya que mientras el código de barras debe estar obligatoriamente en la superficie, la etiqueta NFC puede estar bajo la carcasa o al interior del ítem y aun así ser legible. Por lo que se recomienda para este dispositivo, contar con ambas tecnologías, lo cual sería viable si se adiciona un microcontrolador con un módulo de lectura NFC con comunicación Wifi a un lector de código de barras.

3) *Consideraciones para diseño de subsistemas de procesos de comunicación tipo 3:* Con respecto al registro de consumo energético sería necesario el uso de un medidor-registrador de energía eléctrica con comunicación por protocolos estándar como RS232 o RS485, ya que ambos pueden ser interpretados en un microcontrolador con comunicación Wifi e integrar eficientemente el medidor al sistema IoT.

En el caso del Registro de uso de suministros académicos generales, se detalló como parcial en la tabla II, dado que la automatización que se propone es solo a una parte del proceso y esta es, específicamente a gestión de repuestos de tinta de marcador para pizarra, la cual, actualmente es gestionada por el área de aulas y laboratorios; en este caso, se propone un dispensador inteligente para esos repuestos, que permita identificar que el marcador pertenece a la universidad a través de una etiqueta NFC en su interior, realice el cambio de repuesto, registre el uso del suministro y envíe la información al CMMS de manera autónoma.

Por último, con respecto a la gestión de acceso, se requiere un sistema que permita identificar al personal autorizado y habilite el acceso, la identificación de personal se puede realizar de múltiples maneras, siendo las más comunes, NFC y biometría, el sistema debe ser capaz de cotejar con la base de datos si es que al usuario que solicita acceso le corresponde ingresar en ese horario; adicionalmente, se puede vincular la actividad del laboratorio con relés inteligentes que permitan cortar el suministro eléctrico en el laboratorio para evitar el consumo de los equipos en standby en horas de inactividad, obviamente, los registros de estos accesos, también deben ser remitidos al CMMS.

Teniendo las anteriores consideraciones en mente es posible dimensionar tecnologías que cumplan con las especificaciones listadas.

### C. Propuesta de Tecnologías para la implementación de sistema IoT

#### 1) *Tecnologías Aplicables a Procesos Tipo 1:*

Actualmente estos registros se generan en hojas de Excel o en registros manuales almacenados localmente en la PC del

supervisor/asistente, el objetivo en este tipo de proceso es únicamente cambiar el entorno en el que se ingresa esta data, para ello se podrían utilizar tecnologías de interfaz de usuario de tipo tradicional, low code o no code como se detalla en la tabla III.

TABLA III  
TECNOLOGÍAS APLICABLES A PROCESOS TIPO 1 CLASIFICADAS DE ACUERDO CON EL NIVEL DE CODIFICACIÓN REQUERIDO PARA SU IMPLEMENTACIÓN

TRADICIONALES	LOW CODE	NO CODE
React	Microsoft Power Apps	Excel Online
Angular	Google App Script	Google Sheets
Vue		

Cada uno de estos tres paradigmas de implementación de interfaces de usuario para ingreso de datos tiene sus ventajas y desventajas; dentro una implementación tradicional cada aspecto de la interfaz de usuario y el tratamiento de datos es implementado a medida, pero requiere más tiempo y mayor conocimiento en programación; mientras que en low code, el usuario está más limitado a los medios de ingreso de datos proporcionados por el entorno de implementación y se requiere conocimiento básico de programación para estructurar el tratamiento de los datos; y finalmente, en no code nos encontramos con una interfaz de usuario ya implementada con sus flujos de comunicación definidos, por lo que es la alternativa más rápida, pero a la vez, la más limitada.

2) *Tecnologías Aplicables a Procesos Tipo 2:* Dentro de los procesos de comunicación tipo 2 ya se cuenta con dispositivos IoT, por lo que, ante la enorme cantidad de alternativas existentes en el mercado se puede establecer como primer criterio de selección, el tipo de conectividad, por lo que remitiéndonos al trabajo de Crespo (2021) [8] se puede tomar a la conectividad bluetooth y wifi como las más eficientes para este tipo de aplicaciones ya que están enfocadas en la comunicación punto a punto y punto a multipunto dentro de un espacio físico correspondiente a un único ambiente. En segundo lugar, es necesario establecer los criterios para el diseño de hardware y en este aspecto, hay un parámetro que prima sobre los demás debido al entorno en el que se usará el dispositivo y este es la portabilidad, ya que este dispositivo será una herramienta de trabajo que el supervisor/asistente de laboratorio deberá llevar consigo durante gran parte o incluso, en la totalidad de su jornada de trabajo, por lo que, en segundo lugar, tendríamos como criterio de selección la autonomía del dispositivo; en los trabajos de Taipe (2018) [6] y Ramos (2021) [3] se ha optado por el uso de plataformas de hardware libre como Arduino y Raspberry que son bastante comerciales y cuentan con recursos de programación y módulos de comunicación que permiten un prototipado rápido y un camino corto para llegar a las pruebas de

funcionalidad, por otro lado, es importante considerar plataformas de desarrollo de hardware como microcontrolador PIC, ARM O SoC, los cuales ofrecen un menor consumo energético y un tamaño menor en el dispositivo final a cambio de complejizar el proceso de prototipado y programación..

3) *Tecnologías Aplicables a Procesos Tipo 3:* con respecto al núcleo de procesamiento de datos y la comunicación, se conservan las alternativas consideradas para los procesos de tipo 2, pero es necesario adicionar periféricos específicos, ya que, en este caso, los dispositivos no solo enviarán data, sino también, deberán realizar acciones físicas, para lo que requerirán actuadores. Puntualmente, para la gestión de energía, serán necesario relés (preferentemente, de estado sólido), los cuales controlarán el paso del fluido eléctrico para luminarias y tomacorrientes; para la gestión de acceso, es necesaria la integración de una cerradura eléctrica controlada por uno de los nodos IoT, que permita acceder al ambiente solo cuando corresponde de acuerdo a la programación de actividades previamente cargada en la base de datos y una verificación a través de biometría o NFC; y por último, la gestión de repuestos de cartuchos de tinta para los marcadores de pizarra, requerirá de motores de pasos o servomotores para poder dispensar el material de forma autónoma, considerando que también estará controlado por un nodo IoT con comunicación a la base de datos en donde cargará la data de consumo.

4) *Tecnologías Aplicables a CMMS y Bases de Datos:* Aplican criterios muy similares a los tomados para las tecnologías propuestas para los procesos tipo 1, con la diferencia de que no existen alternativas no code para para esta etapa del esquema de comunicaciones, en donde, se considerarían las propuestas de la tabla III, pero cambiando la primera columna por tecnologías de backend y bases de datos tradicionales, así como también, agregando los complementos low code de bases de datos.

TABLA IV

TECNOLOGÍAS APLICABLES A LA ETAPA DE BACKEND CLASIFICADAS DE ACUERDO CON EL NIVEL DE CODIFICACIÓN REQUERIDO PARA SU IMPLEMENTACIÓN

TRADICIONALES	LOW CODE
Node JS	Microsoft Power Automate
PHP	Google App Script
Mongo DB	Microsoft Lists
SQL	Google Firebase

De acuerdo con las alternativas consideradas en el anterior análisis, se pueden generar diversos esquemas; teniendo en cuenta la realidad de la Universidad Privada del Norte, en donde ya se usa el ecosistema de Microsoft 365, por lo que ya se tiene acceso a sus entornos de gestión de datos low code, por lo que, considerando la alternativa de implementación más rápida, tendríamos la infraestructura mostrada en la Fig. 4.

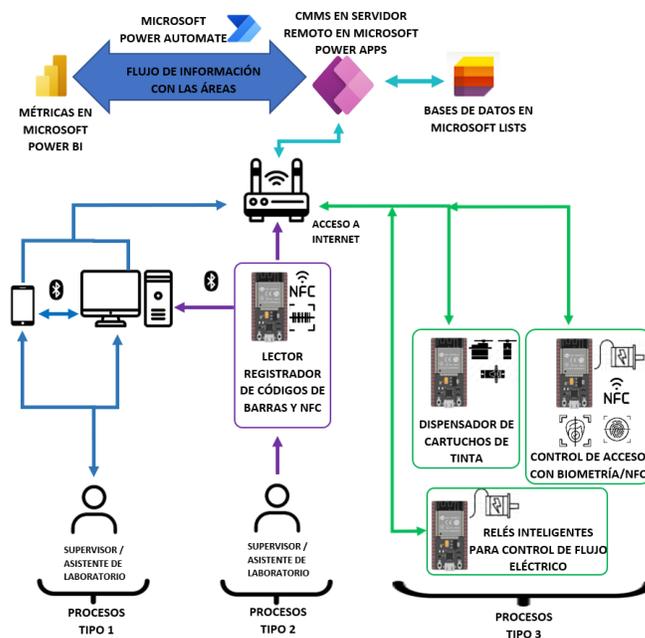


Fig. 4 Infraestructura de sistema IoT para gestión de Laboratorio especializado con Microsoft 365 y SoC

En la Fig. 4 se puede apreciar la infraestructura del sistema IoT, basada en el esquema de comunicaciones representado en la Fig. 3 en donde se ha tomado como núcleo de los dispositivos IoT, al SoC ESP32 por sus reducidas dimensiones, versatilidad de programación y módulos de conectividad bluetooth y wifi integrados, en esta infraestructura se aprecia que los nodos encargados de los procesos tipo 3, dependerán necesariamente de su conectividad con el CMMS, esto podría representar inconvenientes en algún escenario en el que se presenten problemas de conexión a internet, por lo que, un buen mecanismo de protección ante ese tipo de escenarios, sería la integración de una microcomputadora Raspberry pi como hub para los nodos IoT, ya que esta permitiría mantener los protocolos del CMMS activos y una copia de las bases de datos y posteriormente enviar los datos al CMMS cuando se recupere la conexión; esa nueva versión de la infraestructura se representa en la Fig. 5.

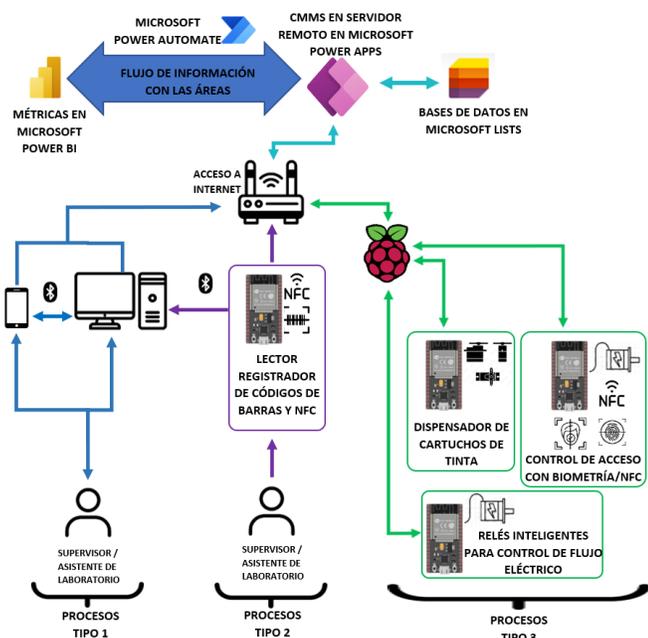


Fig. 5 Infraestructura de sistema IoT para gestión de Laboratorio especializado con Microsoft 365 y SoC con respaldo offline

Esta infraestructura permitiría Automatizar el flujo de información generado en la gestión de un laboratorio especializado en la Universidad Privada del Norte; es posible remitirse al trabajo de Taípe (2018) [6], quien concluye que la implementación de sistemas IoT para la gestión de energía representa una notable optimización en costos, sin embargo, su estudio no considera la optimización que podría representar en horas/hombre sin embargo, se plantea como una sugerencia de implementación posterior a la suya, un sistema de gestión de uso del ambiente.

### III. CONCLUSIONES

Basados en la infraestructura IoT propuesta y el conocimiento de las actividades de un laboratorio especializado, se puede concluir que solo en la automatización de la gestión de acceso y repuestos de marcadores de pizarra, se alcanzaría una optimización a nivel de horas/hombre en el personal de operaciones académicas encargados actualmente de esas labores, a ello se debe agregar que con la gestión de energía se evitaría el consumo eléctrico de los equipos en modo standby, representando optimización en costos, adicionalmente, existe también optimización con respecto a las horas/hombre del supervisor/asistente del laboratorio especializado, ya que los registros se realizarían de forma automática y el último y más importante aporte, sería la disponibilidad de data actualizada para las áreas que la requieran, impactando directamente en la gestión de la calidad.

Es posible orientar la implementación del sistema a la alternativa más económica, a través del uso entornos de desarrollo web tradicionales como Node Js para el CMMS, React para la interfaz de usuario y SQL para las bases de datos, lo cual implicaría más tiempo de desarrollo mayor y un equipo de desarrollo con mayor experticia en programación, pero el sistema resultante no tendría costos fijos a excepción del hosting, mientras que con respecto al hardware, se puede optar por implementaciones parciales, priorizando la automatización de sistemas que tengan mayor impacto en costos.

Para una universidad que actualmente ya haga uso de cualquiera de las tecnologías de entorno de trabajo presentadas, la implementación de un sistema como éste, implicaría un aprovechamiento de recursos con los que ya se cuenta, haciendo posible la implementación de la automatización de los procesos de comunicación de tipo 1 sin costo adicional.

Si bien, el diseño final corresponde a un sistema de gestión IoT-BI; dado su entorno de implementación, se podría considerar también como un sistema de ambiente inteligente, el cual abarca por concepto, los paradigmas de IoT y BI, además se podría adecuar mejor en caso se pueda dar una implementación a nivel campus, en donde se aplicarían criterios de ciudades inteligentes.

Es posible también, abordar la propuesta de modelo que presenta este estudio como un primer paso a contribuir con los 17 objetivos de desarrollo sostenible de la agenda 2030 de la ONU, considerando principalmente en los objetivos 4, 8 y 9; “Educación de calidad”, “Trabajo decente y crecimiento económico” e “Industria, innovación e infraestructura” respectivamente. En este orden de ideas, se sugiere evaluar el impacto de la implementación de este sistema con estudios cuantitativos.

### REFERENCIAS

- [1] M. A. Cabeza Rodríguez, E. N. Cabrera Salazar y R. Serey Serey, «Algunas consideraciones sobre los indicadores de gestión en,» Revista Economía, Caracas, 2002.
- [2] M. A. Rodríguez T., «Indicadores de Gestión en la Gerencia Estratégica Universitaria,» Orbis, Maracaibo, 2014.
- [3] E. Ramos Sorroche, «Servicio de Monitorización de Aulas Mediante Dispositivos IoT con Gestión de Datos en la Nube de Azure,» Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, 2021.
- [4] J. M. Corona A. y C. A. Hernández G., «Relación Proveedor Usuario y flujos de información tecnológica en la Industria Mexicana,» Bancomex, Ciudad de México, 2000.
- [5] L. G. Ríos A y Y. M. Iza, «Algunas Analogías Entre los Sistemas de Ingeniería y los Sistemas Administrativos (Segunda Parte),» Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, 2005.
- [6] D. A. Taípe Manotoa, «Plataforma IoT de Control Inteligente de un Sistema de Iluminación Led con Suministro Eléctrico en Corriente

Continúa LVDC,» Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2018.

- [7] J. E. Portocarrero Castillo, «Desarrollo de un Servidor de Conexión Local y Remota de IoT para la Universidad Autónoma de Occidente "UAOIoT",» Universidad Autónoma de Occidente, Santiago de Cali, 2017.
- [8] J. E. Crespo Perán, «Gestión de Dispositivos en un sistema IoT: Caso de Uso de IoT para Facility Management,» Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2021.