

CENTRO DE ENSEÑANZA TÉCNICA Y SUPERIOR



Colegio de Ingeniería
Dirección de Posgrado
Campus Mexicali

Tesis / Proyecto de Ingeniería e Innovación

**Desarrollo de plataforma IoT para control y monitoreo de salones de
clase y laboratorios de innovación**

Para obtener el grado de

Maestría en Ingeniería e innovación

Presenta

Oscar Alonso Rosete Beas

Director de proyecto:

Dr. Luis Carlos Básaca Preciado

Codirector de proyecto:

Dra. Dania Licea Verduzco

Septiembre de 2019

CENTRO DE ENSEÑANZA TÉCNICA Y SUPERIOR



Colegio de Ingeniería
Dirección de Posgrado
Campus Mexicali

Tesis / Proyecto de Ingeniería e Innovación

**Desarrollo de plataforma IoT para control y monitoreo de salones de
clase y laboratorios de innovación**

Para obtener el grado de

Maestría en Ingeniería e innovación

Presenta

Oscar Alonso Rosete Beas

Director de proyecto: Dr. Luis Carlos Básaca Preciado

Codirector de proyecto: Dra. Dania Licea Verduzco

Comité evaluador:

Dra. Dania Licea
Verduzco

Dra. Karla Garduño
Palomino

Dr. Luis Carlos
Básaca Preciado

Septiembre de 2019

Agradecimientos

Son a bastantes personas que han contribuido en el proceso y definición de este proyecto. Antes que nada, quisiera agradecer en primer lugar a Dr. Luis Carlos Básaca y Dr. Juan Terrazas director del Centro de Excelencia en innovación y Diseño (CEID) donde se lleva. De igual forma a mis compañeros de trabajo y compañeros de escuela que fueron un apoyo incondicional en mi fortalecimiento académico.

Me gustaría también un agradecimiento a mi familia que me alentaron y en especial a mi madre Socorro Beas Rodríguez que me dio su bendición para motivarme en este reto académico y a mi hermano Erick Rosete Beas que brindó su apoyo incondicional al éxito de este proyecto.

De igual manera un agradecimiento y un reconocimiento total a las instituciones que hicieron todo esto posible, Centro de Enseñanza Técnica y Superior (CETYS) por los maestros, las instalaciones y todo el equipo que conforma la institución y al Consejo Nacional de Ciencias Y Tecnología por el apoyo brindado para llevar a cabo este proyecto.

Finalmente, quiero dedicar este trabajo a todos mis amigos, por apoyarme cuando más se les necesito, por extender su mano en momentos difíciles y por la gran amistad que se ha generado en el transcurso de los años.

Carta Institucional



Mexicali, Baja California a 9 de septiembre de 2019

Atención a

Dra. Karla Garduño Palomino
Coordinadora Académica de
Posgrado de Ingeniería Campus Mexicali

Por medio de la presente se hace constar que el proyecto de aplicación con el título “Desarrollo de Plataforma IoT para Control y Monitoreo de Salones de Clase y Laboratorios de Innovación” presentado por el alumno Oscar Alonso Rosete Beas con matrícula 035471, inscrito en el programa de Maestría en Ingeniería e Innovación, ha sido desarrollado exitosamente durante su estancia en el programa en CETYS Universidad campus Mexicali, bajo la dirección académica del Dr. Luis Carlos Básaca Preciado docente de la escuela de ingeniería.

Se extiende la presente para los fines que al interesado convenga.



ATENTAMENTE




Dr. Juan Manuel Terrazas Gaynor
Director del Centro de Innovación y Diseño
Sistema CETYS Universidad.

Única en México con Acreditación Internacional **WASC**

Calzada CETYS s/n Col. Rivera Mexicali, B.C. 21259 | U.S. Mailing address: P.O. Box 2808 Calexico, CA 92231
Tel: +52 (686) 567 3700 Fax: +52 (686) 565 0241 | www.cetys.mx | infocetys@cetys.mx

CETYS Universidad es una institución que promueve la excelencia académica por el mundo. CETYS Universidad es acreditada por la Recording Commission for Senior Colleges and Universities of the Western Association of Schools and Colleges (WASC) - 9100 Wilshire Avenue #100, Alhambra, CA 91801, 510-758-9001.

Índice	
Agradecimientos	i
Carta Institucional	ii
Índice de Figuras	v
Índice de Tablas	vi
Lista de Acrónimos y Abreviaturas	vii
Resumen	viii
Capítulo 1: Introducción	1
1.1 Entorno del problema	1
1.2 Estado del arte	2
1.2 Antecedentes	3
1.2.1 Consumo energético CETYS campus Mexicali	3
1.3 Justificación	4
1.4 Planteamiento del problema	5
1.5 Preguntas de investigación	5
1.6 Objetivo General	6
1.7 Objetivos Específicos	6
1.8 Hipótesis	7
1.9 Definición de variables	7
Capítulo 2: Marco teórico/referencial	8
2.1 IoT	8
2.1.1 Antecedentes	8
2.1.2 Definiciones	8
2.2 Arquitectura Lambda	9
2.3 OPC Unified Architecture	10
Capítulo 3: Metodología	12
3.1 Bosquejo Metodológico	12
3.1.1 Fase 1. Definición	12
3.1.2 Fase 2. Selección de parámetros a monitorear y controlar	13
3.1.2 Fase 3. Sistema de IoT	13
3.1.2 Fase 4. Detección de personas	13
3.1.2 Fase 5. Resultados	13

3.2 Planificación	13
3.2.1 Cronograma	15
3.3 Recursos requeridos	16
Capítulo 4: Resultados	18
4.1 Fase 1. Definición	18
4.1.1 Instalaciones de los Laboratorios del CEID	18
4.1.2 Proceso de encendido y apagado de luminarias.	18
4.1.3 Proceso de encendido y apagado del sistema de refrigeración	19
4.1.4 Instalaciones de los salones de clase del CEID	20
4.1.5 Observaciones detectadas en el proceso actual	20
4.2 Fase 2. Selección de parámetros a monitorear y controlar	21
4.3 Fase 3. Sistema de IoT	23
4.3.1 Selección de dispositivos de adquisición de datos	23
4.3.1.1 Sensores	23
4.3.1.2 Sistema de adquisición de datos	23
4.3.1.1 Raspberry Pi	23
4.3.1.2 Tarjeta Wemos D1 Mini	24
4.3.2 Selección de servicios de la nube	25
4.3.2.1 Amazon Web Services (AWS)	25
4.3.2.2 AWS IoT	26
4.3.2.3 AWS EC2	26
4.3.2.4 AWS DynamoDB	26
4.3.3 Selección de tecnologías de desarrollo web	27
4.3.3.1 Python-Flask Server	27
4.4 Fase 4. Detección de personas	27
4.5 Fase 5. Resultados	30
4.5.1 Implementación IoT	30
4.5.1.1 Diseño general del sistema IoT	30
4.5.1.1.1 Arquitectura Servidor Web	30
4.5.1.1.2 Arquitectura general del sistema	31
4.5.2.1 Registros en Base de Datos AWS DynamoDB	33
4.5.2.2 Dashboard de comunicación de información	34

4.5.3 Resultados de la Implementación de sistema de detección en el aula	35
4.5.4 Costos de la Implementación y retorno de inversión	39
Capítulo 5: Discusión, conclusiones y recomendaciones	42
5.1 Fase 1. Definición	42
5.2 Fase 2. Selección de parámetros a monitorear y controlar	42
5.3 Fase 3. Sistema de IoT	42
5.4 Fase 4. Detección de personas	43
5.5 Fase 5. Resultados	43
5.6 Conclusión general	43
5.7 Recomendaciones	44
5.8 Líneas de investigación futuras	44
Referencias	45

Índice de Figuras

Figura 1. Consumo energético CETYS Universidad Campus Mexicali 2015	3
Figura 2. Procedimiento Metodológico para la investigación	12
Figura 3. Gantt de Actividades	16
Figura 4. Luminarias en laboratorio	18
Figura 5. Proceso de apagado de luminaria	19
Figura 6. Luminarias en salones de clase	20
Figura 7. Matriz de efectividad	22
Figura 8. Configuración adquisición señales de sensores	24
Figura 9. Configuración adquisición señales de sensores	25
Figura 10. Arquitectura de servidor web	31
Figura 11. Arquitectura lambda Speed Layer	32
Figura 12. Arquitectura lambda Batch Layer	33
Figura 13. Modelo tabla SmartLabs	34
Figura 14. Consulta de registro 2582 en AWS Console	34
Figura 15. Servidor web	35
Figura 16. Sistema de desarrollo NVIDIA Jetson Nano	36
Figura 17 Comparativa imagen original e imagen con personas detectada a través de SSD en aula 28108	36
Figura 18. Comparativa imagen original e imagen con personas detectadas a través de SSD aula 28108	36
Figura 19. Implementación red neuronal clasificatoria	37
Figura 20. Detección robusta de personas	38
Figura 21. Impresión en terminal del sistema de desarrollo	38

Índice de Tablas

Tabla 1. Listado de actividades y entregables	14
Tabla 2. Cronograma de Actividades	15
Tabla 3. Lista de Recursos requeridos por actividad	17
Tabla 4. Tiempo ocioso con luminarias encendidas.....	21
Tabla 5. Probabilidad de clasificación errónea de acuerdo con cantidad de imágenes	30
Tabla 6. Lista de Materiales utilizados para el monitoreo de laboratorio.....	39
Tabla 7. Lista de materiales utilizados para el monitoreo de un aula de clase.....	39
Tabla 8. Costo de utilización ociosa de luminarias en salones de clase	40
Tabla 9. Costo de utilización ociosa de luminarias en aulas de clase	40
Tabla 10. Retorno de inversión	40
Tabla 11. Cantidad de horas de consumo evitadas	41

Lista de Acrónimos y Abreviaturas

AWS- Amazon Web Services

AWS IoT- Amazon Web Services Internet of Things

AWS EC2- Amazon Web Services Elastic Compute Cloud

BCU- Birmingham City University

CEID- Centro de Excelencia en Innovación y Diseño

CETYS- Centro de Enseñanza Técnica y Superior

GSM- Global System for Mobile communications

IoT- Internet de las Cosas

IMU- Unidad de Medición Inercial

LIDAR - Light Detection and Ranging

OPC – Open Platform Communications

OPC UA- Open Platform Communications Unified Architecture

RFID- Radio-Frequency Identification

SLAM- Simultaneous Localization and Mapping

3D-Three-dimensional

SSD – Single Shot Multi-box detector

CNN – Convolutional Neural Network

Resumen

Las redes de sensores inalámbricas han sido introducidas diariamente a nuestra sociedad y el concepto de Internet de las cosas (IoT) tiene una presencia cada vez mayor. Tras adaptar un esquema de control y comunicación similar al utilizado en las ciudades inteligentes a las instalaciones de un campus se obtiene un sistema donde la información proveniente de diferentes sensores y señales son combinadas con el propósito de ofrecer nuevos servicios a la comunidad académica tales como el control de iluminación y monitoreo de temperatura, iluminación y ocupación de salones de clase y laboratorios de innovación, así como el potencial de asegurar la administración energética, entre otros beneficios que darán soporte a la comunidad en general.

El proyecto que se presenta tiene como finalidad el planteamiento de una arquitectura IoT que permite reducir el impacto ambiental producto del consumo energético en aulas y laboratorios que no se encuentren en uso por estudiantes o personal de la institución en el Centro de Excelencia Innovación y Diseño (CEID) de CETYS Universidad Campus Mexicali, para lo cual se evaluaron las distintas alternativas de tecnologías web, dispositivos de comunicación y de procesamiento de imágenes, así como algoritmos de clasificación mediante redes neuronales, teniendo como resultado la implementación efectiva en laboratorios y salones de clase de la arquitectura propuesta reduciendo en un 23.78% el gasto energético relacionado a la utilización de luminarias.

Capítulo 1: Introducción

1.1 Entorno del problema

El Centro de Enseñanza Técnica y Superior (CETYS Universidad) es una institución particular de excelencia educativa, nacida en 1961 en Baja California bajo el auspicio de un grupo de empresarios visionarios comprometidos con la educación.

En cuanto a la oferta educativa de la institución se encuentran contemplados preparatoria, profesional, posgrados y carreras gerenciales los cuales cuentan con diferentes programas académicos.

La Visión CETYS 2020 menciona que: “CETYS Universidad será una institución de alta calidad educativa, competitiva mundialmente, funcionando como una comunidad de aprendizaje, y reconocida por sus acciones y resultados en un marco de sustentabilidad”.

La institución cuenta con 3 Campus: Mexicali, Tijuana y Ensenada. Actualmente el campus de CETYS Mexicali está conformado por los siguientes edificios: CASE, biblioteca Cafetería, CECE, gimnasio, sección de salones de preparatoria, edificio de licenciatura y el edificio de posgrado, el alcance del proyecto en una primera etapa está limitado al edificio donde se imparten los cursos de posgrado, Centro de Excelencia en Innovación y Diseño (CEID)

CEID cuenta con un modelo denominado de cuádruple hélice para impulsar la innovación en México, conformado por CETYS universidad, la industria, la sociedad y el gobierno. En el caso de CETYS universidad se cuenta con aulas para el estudio de cursos de licenciatura y posgrado, así como los siguientes laboratorios a la vanguardia para la realización de las actividades de aprendizaje de manera exitosa:

- 1 Laboratorio de diseño y manufactura aditiva
- 2 Sustentabilidad y energías alternas
- 3 Robótica y automatización industrial
- 4 Sistemas de producción
- 5 Cómputo distribuido, IoT y radiofrecuencias

- 6 Animación y diseño gráfico digital
- 7 Creatividad
- 8 Investigación aplicada, pruebas e integración.

1.2 Estado del arte

El desarrollo de tecnologías tales como el cómputo en la nube y el internet de las cosas han creado nuevas oportunidades de aplicación en distintos sectores, en el ámbito industrial ha desarrollado una transformación a un nuevo paradigma denominado manufactura en la nube, un modelo que cuenta con múltiples beneficios tales como ser orientado al servicio, centrado en el cliente, de estructura dinámica, distribuida y reconfigurable (Zhang et al., 2012).

Sin embargo, en cuanto a la aplicación de la plataforma de Internet de las cosas en aspectos educativos existe poca documentación al respecto, teniendo como referencia el caso de éxito de Birmingham City University (BCU) donde se estableció mediante una plataforma de Internet de las cosas que aceptaba un amplio rango de estándares IEEE e ISO y protocolos a través de adaptadores entre los que se incluían RESTFUL web-services, BACnet, Open Platform Communications (OPC) y ODBC. Esta implementación obtuvo como resultado un trabajo más colaborativo y el establecimiento de flujos de trabajo interdepartamentales que han mejorado los procesos de negocio, por ejemplo, el reporte, despliegue y acceso a la ocupación del edificio y el consumo energético por las áreas interesadas. Asimismo, apoyo al sistema de monitoreo de asistencia de alumnos que tiene vínculo con servicios estudiantiles para alertar de actividad es que puedan requerir intervención para asegurar se obtenga la mejor experiencia posible. Las variables que se monitoreaban incluían pero no se encontraban limitadas a registros de estudiantes, reserva de salones, alarmas de incendio y administración energética (Hipwell, 2014).

Identificando un potencial mayor a lo previamente mencionado, el enfoque de este desarrollo se basa en la utilización de diversos sensores ubicados en salones de clase y laboratorios que nos permitan el control y monitoreo utilizando plataformas de internet de las cosas. El proyecto descrito se desarrolla en la ciudad de Mexicali, capital del estado

de Baja California y será implementado en las instalaciones de Centro de Enseñanza Técnica y Superior (CETYS) Universidad, campus Mexicali.

1.2 Antecedentes

1.2.1 Consumo energético CETYS campus Mexicali

Tomando en consideración la información proporcionada por el departamento de mantenimiento de CETYS campus Mexicali, que se encuentra concentrada en el histograma presente en la Figura 1, se puede observar que el consumo promedio de kWh consumido es de 265,822 kWh por mes, lo cual implica un impacto ambiental de 89,302 m^3 tomando en consideración a visión de CETYS universidad para el 2020 se puede observar que en específico el objetivo de ser reconocido por tener resultados en un marco de sustentabilidad se encuentra afectado por el consumo energético existente.

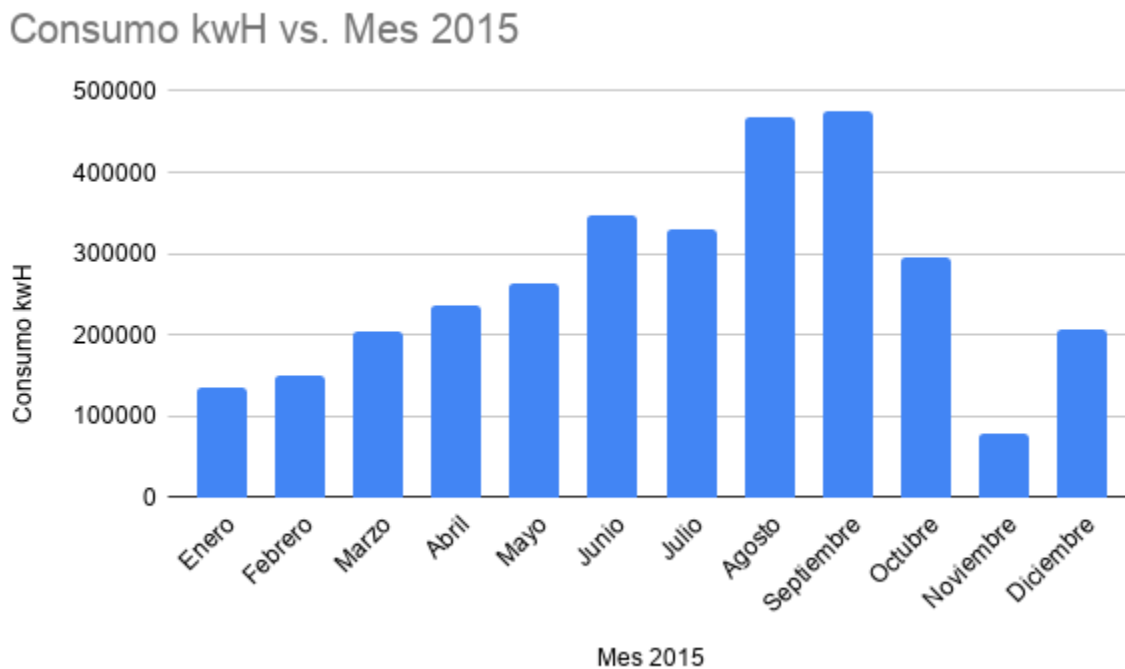


Figura 1. Consumo energético CETYS Universidad Campus Mexicali 2015

Fuente: Elaboración propia

Adicional se puede observar el incremento sustancial del consumo energético en los meses de Junio a Octubre lo que implica una correlación con las altas temperaturas de la ciudad en esos meses y que pudiera considerarse efecto del encendido continuo de los sistemas de refrigeración.

1.3 Justificación

Las tecnologías actuales facilitan la vida de los usuarios, al tener mayor cantidad de dispositivos interconectados se abren puertas para aplicaciones a las que previamente no se tenía acceso lo que mejora la calidad de vida y el bienestar de los usuarios, lo cual sería una realidad también en el caso del personal del campus universitario. En específico, al analizar detalladamente los beneficios obtenidos de la implementación de plataformas de IoT en BCU, se puede notar que se redujo la emisión de CO₂ en 40%, se tuvieron ahorros de £140,000 por año y beneficios adicionales entre los que se encuentra la disponibilidad de la información para la toma de decisiones y facilidad para realizar un trabajo más colaborativo, lo que nos permite pronosticar que esta institución será sustentable en los siguientes años. Para obtener estos resultados la institución tuvo que realizar una inversión en la infraestructura entre lo que se encuentran una extensión de uso de sensores para detección de presencia y sensores de dióxido de carbono en los teatros para mejorar la comodidad y optimizar el uso de servicios y energía. (Hipwell, 2014).

Tomando como referencia la investigación realizada por el equipo de BCU se identificó que en el mercado no existe un producto que englobe la utilización inteligente de los recursos energéticos en el edificio y los sistemas de seguridad, adicionalmente en caso de existir esta solución se tendría un riesgo inherente de ser dependiente de un solo vendedor, por lo que se plantea la posibilidad de diseñar una arquitectura de red que permita el control y monitoreo de salones y laboratorios de innovación.

Para que el sistema permanezca funcional, una nueva generación de tecnología del estado del arte debe ser implementada e integrada para permitir la comunicación e intercambio de información. Una metodología robusta para simulación de IoT previa a su

implementación es presentada en (D'Angelo, Ferretti, & Ghini, 2017), para poder validar la adición de más sensores, dispositivos o agentes al sistema entero.

Tras discutir todos los problemas existentes con las tecnologías y topologías de red e infraestructuras actuales para mantener un protocolo de control y procesamiento (Daziano, Sarrias, & Leard, 2017), se debe considerar que para ser una ciudad inteligente diversos factores deben ser asegurados, entre los cuales se encuentran: disponibilidad alta, un arreglo de sensores inteligentes, un protocolo de intercambio de información y comunicación segura y compatible (Ding, Zhang, & Zhao, 2017).

Un nuevo concepto debe ser introducido en este momento: un Smart campus, donde una ciudad inteligente se convierte en un paradigma de red adaptado a un campus para mantener toda la infraestructura de información y ofrecer distintos servicios a estudiantes y personas. Para hacerlo realidad, distintas tecnologías deben ser adoptadas como estándar, por ejemplo, la razón de muestreo para sensores, el esquema de comunicación de información, cómo interactúan los sistemas entre sí, como los microcontroladores se comportan como maestros y esclavos dependiendo de la red, entre otros.

1.4 Planteamiento del problema

Mediante un análisis de las instalaciones de CETYS universidad Campus Mexicali, se identifica como un área de oportunidad minimizar el alto consumo energético, ya que tiene un impacto directo económico y ambiental; anualmente se utilizan más de 10 millones de pesos para solventar el consumo eléctrico y cerca de 3000 toneladas métricas de CO₂ son consecuencia directa del proceso de producción eléctrica para solventar las necesidades del Campus.

1.5 Preguntas de investigación

¿Qué oportunidades de mejora existen en el proceso actual de control de los recursos que tienen un impacto ambiental?

¿Qué variables físicas afectan directamente al consumo energético de los laboratorios y aulas del CEID?

¿Cómo podemos medir las variables que afectan directamente al consumo energético a través de un sistema IoT?

¿Cómo mantenemos la información obtenida por el sistema IoT?

¿Cómo podemos saber si hay alguien dentro del aula o laboratorio?

¿Cómo podemos visualizar las mediciones de variables en tiempo real?

1.6 Objetivo General

Desarrollar un sistema que permita reducir el impacto ambiental producto del consumo energético en aulas y laboratorios que no se encuentren en uso por estudiantes o personal de la institución en el Centro de Excelencia Innovación y Diseño (CEID) de CETYS Universidad Campus Mexicali.

1.7 Objetivos Específicos

- Definir el proceso actual del control de recursos en aulas y laboratorios del CEID.
- Determinar las variables físicas que afectan directamente al consumo energético y seleccionar mediante un filtrado efectivo las críticas para las pruebas piloto.
- Determinar los sensores y microcontroladores que nos permitirán medir las variables a monitorear en el sistema propuesto y que sean compatibles con la infraestructura de redes.
- Determinar los servicios de la nube y tecnologías web que permitirán la comunicación de la información recopilada por los sensores y microcontroladores.
- Establecer un medio de persistencia de la información recabada por el sistema propuesto para su procesamiento futuro.
- Desarrollar un sistema de visión capaz de detectar la ocupación en un salón de clases.

- Desarrollo de un pizarrón de indicadores donde se puedan monitorear los parámetros seleccionados.

1.8 Hipótesis

“El impacto ambiental en aulas que no se encuentren en uso se verá disminuido en un 10% a través del desarrollo de una plataforma IoT que se encargue de controlar iluminación y monitorear temperatura y presencia de estudiantes dentro de los salones de clase y laboratorios de innovación”.

1.9 Definición de variables

Entre las variables de control detectadas para el correcto funcionamiento del sistema se incluyen, pero no se encuentra limitadas a las siguientes:

1. La velocidad de comunicación de datos por parte del servidor web ante una petición de un usuario de la aplicación considerando la distancia máxima ubicada en el campus de CETYS universidad.
2. La velocidad de respuesta del sistema con el propósito particular de la detección y clasificación de un objeto con el sistema de visión.

Capítulo 2: Marco teórico/referencial

2.1 IoT

2.1.1 Antecedentes

A lo largo de las últimas décadas, el internet se ha encontrado en constante evolución, al inicio el internet se caracterizó por la *World Wide Web*, una red de documentos *HTML* que estaban relacionados y existían en la arquitectura del internet, gradualmente migrando a la conocida *Web 2.0* donde una comunicación bilateral existe y facilita la interacción con el usuario.

El siguiente paso fue etiquetar el contenido de la red en una manera más entendible para las computadoras, lo que se conoció como la web semántica o web 3.0, esto con la finalidad de permitir a los motores de búsqueda actuar de una manera más predecible e inteligente. De la misma manera el desarrollo de tecnologías de internet, redes de sensores y comunicaciones de campo cercano tales como RFID, 3G, GSM, UMTS, Wi-Fi, *Bluetooth low energy*, infrarrojo y *ZigBee* fueron evolucionando. La fusión de estas tecnologías, e específico internet y tecnologías con redes de sensores nos permite plantearnos diversas posibilidades de aplicaciones, a las que actualmente se les llama internet de las cosas y la nueva transformación de la industria denominada industria 4.0 o Internet industrial de las cosas. (Whitmore, Agarwal, & Da Xu, 2015)

2.1.2 Definiciones

IoT ha sido un tema de especial interés por los últimos años y diferentes definiciones han sido establecidas para incluir todas las diferentes características que un sistema ideal debe tener. Por ejemplo, se ha definido *IoT* como una infraestructura de red global compuesta por diversos dispositivos conectados que dependen de sensores, comunicaciones y tecnologías de la información (Xu, He, & Li, 2014). Otros autores definieron *IoT* como un paradigma donde dispositivos de utilización diaria pueden ser equipados con identificación, censado, procesamiento y capacidades de conectividad a red que le permiten comunicarse entre ellos y con otros dispositivos y servicios en internet para lograr un objetivo, teniendo como meta final desarrollar una inteligencia

conjunta y ser conscientes de su entorno (Whitmore et al., 2015). Con base en las definiciones previamente mencionadas la definición que se propone para IoT es infraestructura de red global compuesta por sensores y actuadores con identificación única a los que se les brinda la habilidad de comunicar información a través de protocolos de comunicación estandarizados y servicios en la nube.

Con el enfoque de dar una solución a la problemática planteada en el ámbito escolar describiremos las distintas arquitecturas que han sido utilizadas en otros sectores entre los que se encuentra la industria para la implementación de tecnologías de Internet de las Cosas.

Infraestructura de red global compuesta por sensores y actuadores con identificación única a los que se les brinda la habilidad de comunicar información a través de protocolos de comunicación estandarizados y la utilización de servicios en la nube.

2.2 Arquitectura Lambda

Algunos esfuerzos en la implementación de IoT en las industrias incluyen la implementación de un patrón de diseño de software, la arquitectura lambda que unifica *online* y *batch processing* en un solo *framework*. El patrón está destinado a aplicaciones donde existe retraso en la recolección de información y disponibilidad a través de *dashboards*, requiriendo validación de la información para su procesamiento en línea conforme arriba la misma. El patrón también permite procesamiento de lotes de información antigua para encontrar patrones de comportamiento de acuerdo a las necesidades del usuario (Kiran, Murphy, Monga, Dugan, & Baveja, 2015).

La arquitectura en su forma más general está compuesta de tres capas (1) procesamiento de lotes para preprocesar grandes bloques de información (2) Computo en tiempo real para minimizar la latencia al realizar operaciones con la información que se encuentra arribando (3) una capa que responda a las peticiones, funcione como interfaz que recopile las peticiones y provea los resultados de los cálculos, no obstante algunos autores proponen formas más compactas en las que únicamente se incluye la capa de velocidad y la de lotes como sus únicos componentes.

Arquitectura Lambda permite a los usuarios optimizar sus costos de procesamiento de información al entender que partes de la información son necesarias en línea para procesamiento de lotes. Asimismo, particiona los bloques de información para permitir que se ejecuten operaciones en ellos.

Esta arquitectura se encuentra muy adaptada para la solución de problemas donde existe una gran cantidad de información con distintos tipos de análisis que requiere ser analizada en línea y que proviene de una variedad de sensores. El flujo de información en tiempo real puede utilizarse para detectar anomalías verificando si es precisa la información previa a ser procesada, la información que ha sido verificada se almacena en bases de datos donde códigos pueden ser ejecutados diaria o mensualmente para estudiar patrones a lo largo de intervalos de tiempo. Los usuarios pueden reducir los costos al ejecutar scripts en bloques más grandes de información.

2.3 OPC Unified Architecture

En términos de comunicación de información de los sensores existentes en maquinaria, por ejemplo, sensores termopares conectados a un PLC, *Open Platform Communications Unified Architecture* (OPC UA) se vuelve relevante, OPC UA es un protocolo para comunicaciones industriales que ha sido estandarizado en IEC 62541. Desarrollado como un sucesor al ampliamente utilizado *OPC Classic*, se ha convertido en un contendiente principal para las comunicaciones flexibles en aplicaciones industriales sin requerimientos de tiempo real muy estrictos. La fundación *OPC impulse* la mejora continua del estándar, el desarrollo de especificaciones para incorporar modelos de información existentes y la adopción de OPC UA en la industria a través de eventos y proporcionando infraestructura y herramientas para su utilización (Gruner, Pfrommer and Palm, 2016).

OPC UA es un protocolo cliente servidor. El servidor provee acceso a la información y funciones que están estructuradas en un modelo de información orientado a objetos con el cual los clientes pueden interactuar a través de una serie de servicios estandarizados. Un par de estructuras petición-respuesta para cada servicio, estas

estructuras esta construidas a partir de tipos básicos como enteros y codificados a través de un formato binario personalizado o XML. La mayoría de los servicios requieren que el cliente establezca un canal seguro y una sesión previo a utilizarlos

La principal problemática que llevo al desarrollo de OPC UA es que la especificación de *OPC Classic* solo permitía interoperabilidad dentro de redes locales, mientras que OPC UA es una plataforma que permite interoperabilidad entre especificaciones existentes de OPC utilizando servicios web (Rohjans, Uslar, and Juergen, 2010).

Capítulo 3: Metodología

3.1 Bosquejo Metodológico

En esta sección se presenta la metodología utilizada en la elaboración de este proyecto el cual tiene como fin la reingeniería del proceso de control y monitoreo de luminarias que garantice que CETYS Universidad cumpla con su visión del 2020 siendo una institución educativa competitiva mundialmente que logra sus resultados en un marco de sustentabilidad.

El procedimiento será dividido en 5 fases principales como se describe en la Figura 2, las cuales son: definición, selección de parámetros a monitorear y controlar, sistema de IoT, detección de personas y resultados.

Fase 1: Definición	Instrumento para cuestionar	Entrevistas con responsables	Establecimiento de actividades
Fase 2: Selección de parámetros a monitorear y controlar	Identificación de parámetros	Priorización de parámetros	Selección de parámetros
Fase 3: Sistema de IoT	Selección de dispositivos	Selección de servicios de nube	Selección de tecnologías de desarrollo web
Fase 4: Detección de personas	Listado de alternativas	Selección de sensor	Selección de algoritmo
Fase 5: Resultados	Implementación IoT	Implementación Detección	Medición de resultados

Figura 2. Procedimiento Metodológico para la investigación

Fuente: Elaboración Propia

3.1.1 Fase 1. Definición

En la primera fase definición, se busca concretar las actividades importantes que participan en el proceso del control y monitoreo de aulas dentro de CETYS Universidad, mediante la investigación basada en entrevistas al personal que participa directamente en el proceso y con el director del CEID, con ello se rebusca discutir las actividades para

establecer las más importantes o las que generan valor al proceso y así considerarlas para su rediseño del nuevo proceso.

3.1.2 Fase 2. Selección de parámetros a monitorear y controlar

La segunda fase tiene como principal objetivo definir cuáles son los parámetros físicos que se podrían monitorear en un laboratorio y en un aula del CEID que tengan un consumo energético relacionado, y en base a una priorización con su respectiva matriz de efectividad seleccionar los parámetros a monitorear y controlar en la arquitectura IoT piloto.

3.1.2 Fase 3. Sistema de IoT

La tercera fase denominada sistema de IoT, busca la selección adecuada de dispositivos, servicios en la nube y tecnologías de desarrollo web para implementar una arquitectura de IoT funcional y adecuada para controlar y monitorear las aulas

3.1.2 Fase 4. Detección de personas

La cuarta fase es detección de personas, esta fase consiste en resolver la problemática de conocer cuando hay seres humanos dentro del aula, para ello es indispensable seleccionar un sensor y un algoritmo idóneo para solventar las necesidades de la aplicación y que posea una probabilidad de detección errónea baja.

3.1.2 Fase 5. Resultados

La última fase resultados, se analizará el proceso actual con el resultante de las actividades importantes, las variables internas y la documentación, finalmente se realizará la reingeniería del proceso modificando el proceso de acuerdo con el nuevo análisis y actividades.

3.2 Planificación

En este apartado se enlistan el orden de las actividades en el proceso de la investigación considerando los objetivos y la metodología, en la Tabla 1 se puede visualizar las actividades, el producto entregable, la descripción del producto y el tiempo en horas por actividad.

Tabla 1. Listado de actividades y entregables

Fuente: Elaboración propia

No.	Actividad	Producto Entregable	Descripción del producto	Tiempos en horas
Fase 1				
1.1	Instrumento para cuestionar	Cuestionarios para la entrevista	Preguntas que ayuden a describir o conocer todas las activas que participan en el control y monitoreo de los laboratorios, para establecer su importancia en el proceso	8
1.2	Entrevistas con responsables	Llenar el cuestionario con las respuestas de los entrevistados	Descripción de las actividades que participan en el control y monitoreo de las aulas y laboratorios del CEID y explicar las razones de su importancia	8
1.3	Establecimiento de actividades	Listado de las actividades importantes	Realizar el listado de las actividades importantes que deben participar en el proceso de acuerdo a la plática en la entrevista	8
Fase 2				
2.1	Identificación de parámetros	Listado de parámetros	Lista de parámetros que pueden ser monitoreados para la toma de decisiones	8
2.2	Priorización de parámetros	Matriz de efectividad	Matriz de efectividad para identificar los parámetros que pueden ser monitoreados y controlados con mas facilidad y rapidez	8
2.3	Selección de parámetros	Listado de parámetros	Listado de parámetros seleccionados en base a matriz de efectividad	8
Fase 3				
3.1	Selección de dispositivos	Listado de dispositivos	Listado de dispositivos que se seleccionaron para el monitoreo de la iluminación y temperatura.	24
3.2	Selección de servicios de nube	Listado de servicios de nube	Listado de alternativas existentes de servicios de nube, así como la descripción de la nube ideal para la aplicación	18
3.3	Selección de tecnologías de desarrollo web	Listado de tecnologías web	Listado de tecnologías seleccionadas para poder comunicar efectivamente el hardware con la nube.	18
Fase 4				
4.1	Listado de alternativas	Listado de sensores	Listado de sensores capaces de detectar la presencia de humanos dentro de un aula	18
4.2	Selección de sensor	Establecimiento de sensor	Describir qué tipo de sensor es el ideal para el monitoreo de la ocupación en las aulas de clase	30
4.3	Selección de algoritmo	Establecimiento de algoritmo	Describir el algoritmo que pueda ser implementado junto con los dispositivos previamente seleccionados.	40
Fase 5				
5.1	Implementación IoT	Diagrama con Arquitectura IoT	Desarrollo de Diagrama donde se muestra la arquitectura del Servidor Web implementado para la comunicación de los datos medidos	80
5.2	Implementación Detección	Software de detección	Software desarrollado para la detección de personas en laboratorios y aulas de CEID	80
5.3	Medición de resultados	Registros en bases de datos, Dashboard de comunicación de información, Tabla comparativa de fotos, Gráfica de desempeño del servidor-	Tabla en la cual se compara la imagen real contra la imagen con detección de personas, gráficas en las que se representa el desempeño del servidor en la nube con respecto al tiempo de operación y registros de la base de datos seleccionada con sus respectivos timestamps.	40

3.2.1 Cronograma

En este segmento se describe las actividades en relación con el tiempo necesario para la realización de la investigación. En la Tabla 2 se enlistan las actividades con las horas de dedicación consideradas por día, la fecha de inicio y la fecha de finalización estimada para su realización, tomando como referencia el hecho de que se dedicaron 4 horas todos los días de lunes a viernes.

Tabla 2. Cronograma de Actividades

Fuente: Elaboración Propia

No. Actividad	Descripción de actividad	Hrs	Inicio	Final
1.1	Instrumento para cuestionar	8	22/Apr/2019	23/Apr/2019
1.2	Entrevistas con responsables	8	24/Apr/2019	25/Apr/2019
1.3	Establecimiento de actividades	8	26/Apr/2019	29/Apr/2019
2.1	Identificación de parámetros	8	29/Apr/2019	30/Apr/2019
2.2	Priorización de parámetros	8	1/May/2019	2/May/2019
2.3	Selección de parámetros	8	3/May/2019	6/May/2019
3.1	Selección de dispositivos	24	7/May/2019	15/May/2019
3.2	Selección de servicios de nube	18	15/May/2019	21/May/2019
3.3	Selección de tecnologías de desarrollo web	18	21/May/2019	28/May/2019
4.1	Listado de alternativas	18	28/May/2019	4/Jun/2019
4.2	Selección de sensor	30	4/Jun/2019	14/Jun/2019
4.3	Selección de algoritmo	40	17/Jun/2019	28/Jun/2019
5.1	Implementación IoT	80	1/Jul/2019	26/Jul/2019
5.2	Implementación Detección	80	29/Jul/2019	23/Aug/2019
5.3	Medición de resultados	40	26/Aug/2019	6/Sep/2019

Para tener mayor visibilidad del proyecto y el tiempo en el que se va a concluir cada actividad, se creó el Diagrama de Gantt mostrado en la Figura 3.

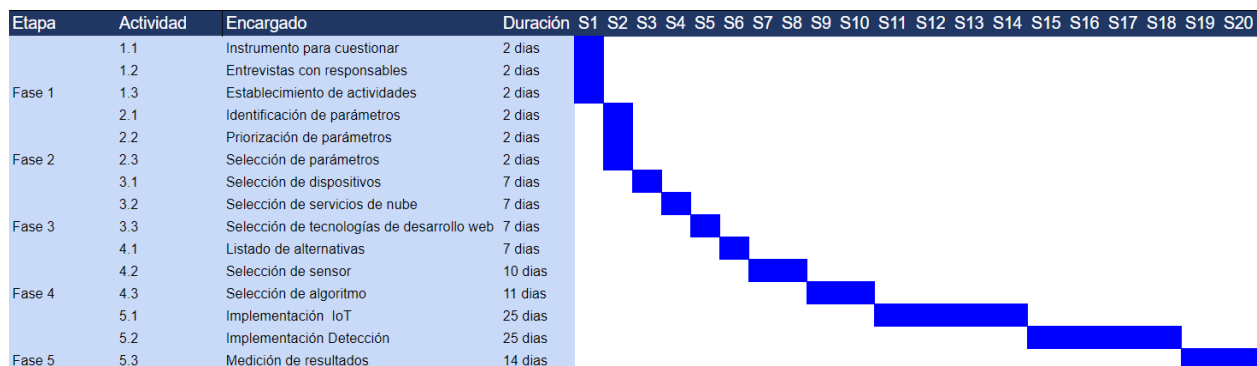


Figura 3. Gantt de Actividades

Fuente: Elaboración Propia

3.3 Recursos requeridos

En esta sección se realiza una pequeña descripción de los recursos materiales, humanos, presupuesto y vinculación institucional necesaria para poder realizar la investigación. conforma a las actividades programadas y productos entregables se identifican los siguientes recursos materiales: se utilizará el equipo de cómputo con paquetería office, para realizar los cuestionarios, análisis de actividades, mapeo de proceso, rediseño y medición de resultados.

Humanos: se busca tener la disponibilidad del personal de mantenimiento, director del CEID para obtener la información.

Presupuesto: para este proyecto se requiere de presupuesto para conseguir los dispositivos seleccionados.

Permisos: Permisos de la institución para acceso a la información digital o impresa de la documentación relacionada al monitoreo y control de luminarias y refrigeración de las aulas y laboratorios del CEID, de igual forma en la etapa de implementación del nuevo proceso de monitoreo el acceso a la base de datos.

En la Tabla 3 se muestran los recursos materiales, humanos, presupuesto y permisos que se necesitaran por cada actividad al realizar.

Tabla 3. Lista de Recursos requeridos por actividad

Fuente: Elaboración Propia

		Recursos			
Actividad	Producto Entregable	Materiales	Humanos	Presupuesto	Permiso
Fase 1					
Instrumento para cuestionar	Cuestionarios para la entrevista	Equipo de cómputo, paquetería Office	N/A	N/A	N/A
Entrevistas con responsables	Llenar el cuestionario con las respuestas de los entrevistados	Cuestionarios	Director de CEID, personal de mantenimiento	N/A	Verificar los tiempos de atención
Establecimiento de actividades	Listado de las actividades importantes	Equipo de cómputo, paquetería Office	N/A	N/A	Verificar los tiempos de atención
Fase 2					
Identificación de parámetros	Listado de parámetros	Equipo de cómputo, paquetería Office	Director de CEID, personal de mantenimiento	N/A	Verificar los tiempos de atención
Priorización de parámetros	Matriz de efectividad	Equipo de cómputo, paquetería Office	N/A	N/A	N/A
Selección de parámetros	Listado de parámetros	Equipo de cómputo, paquetería Office	N/A	N/A	N/A
Fase 3					
Selección de dispositivos	Listado de dispositivos	Equipo de cómputo, paquetería Office	N/A	N/A	N/A
Selección de servicios de nube	Listado de servicios de nube	Equipo de cómputo, paquetería Office	N/A	N/A	N/A
Selección de tecnologías de desarrollo web	Listado de tecnologías web	Equipo de cómputo, paquetería Office	N/A	N/A	N/A
Fase 4					
Listado de alternativas	Listado de sensores	Equipo de cómputo, paquetería Office	N/A	N/A	N/A
Selección de sensor	Establecimiento de sensor	Equipo de cómputo, paquetería Office	N/A	N/A	N/A
Selección de algoritmo	Establecimiento de algoritmo	Equipo de cómputo, paquetería Office	N/A	N/A	N/A
Fase 5					
Implementación IoT	Diagrama con Arquitectura IoT	Equipo de Cómputo, dispositivos IoT	Director de CEID, personal de mantenimiento	\$6,270.00	Permiso a Director de CEID para el uso de sus instalaciones
Implementación Detección	Software de detección	Equipo de computo, sensor seleccionado	Director de CEID, personal de mantenimiento	\$300.00	Permiso a Director del CEID para el uso de sus instalaciones
Medición de resultados	Registros en bases de datos, Dashboard de comunicación de información, Tabla comparativa de fotos, Gráfica de desempeño del servidor-	Equipo de cómputo, paquetería Office	N/A	N/A	Permiso a Director del CEID para acceso a la información recopilada

Capítulo 4: Resultados

4.1 Fase 1. Definición

CETYS Mexicali está conformado por edificios de universidad, posgrado y preparatoria, el alcance del proyecto en una primera etapa está limitado al edificio donde se imparten los cursos de posgrado, el Centro de Excelencia en Innovación y Diseño (CEID).

4.1.1 Instalaciones de los Laboratorios del CEID

En términos de las instalaciones, como se puede visualizar en la Figura 4 cada uno de los laboratorios cuentan con un total de 10 luminarias de tubos fluorescentes de 75 W y refrigeración de paquete que tiene ingreso por ductos.

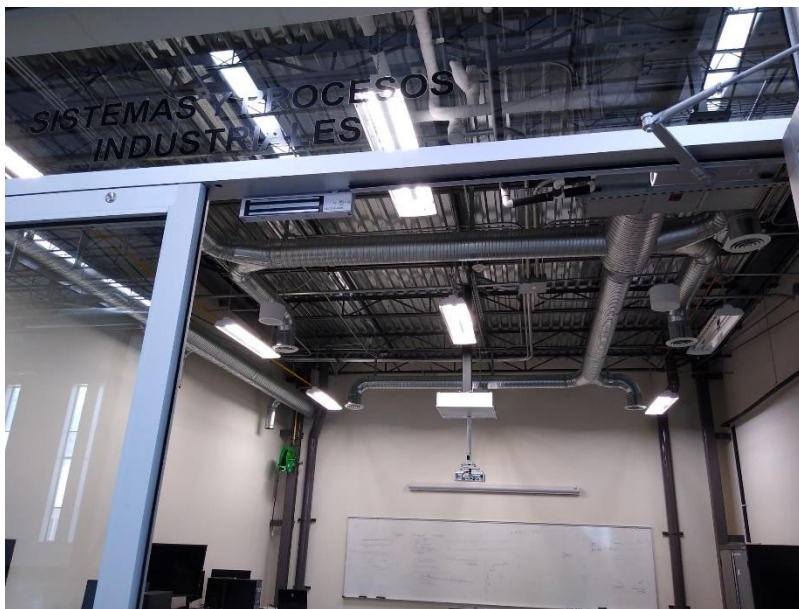


Figura 4. Luminarias en laboratorio

Fuente: Elaboración Propia

4.1.2 Proceso de encendido y apagado de luminarias.

Como se puede visualizar en la Figura 5 a las 5 pm el encendido de la iluminación es un proceso realizado de manera manual por el encargado o docente que requiera de la utilización de las instalaciones y haya sido agendado con previa autorización del director del CEID, la selección de las secciones a iluminar queda bajo el criterio del profesor, sin embargo la problemática radica en que una vez terminada la sesión de

clases existe el escenario en el cual no se haya realizado un apagado de luminarias, en esta situación en el peor de los escenarios serian apagadas hasta el horario en el que los guardias de seguridad realizan sus recorridos (10 pm).

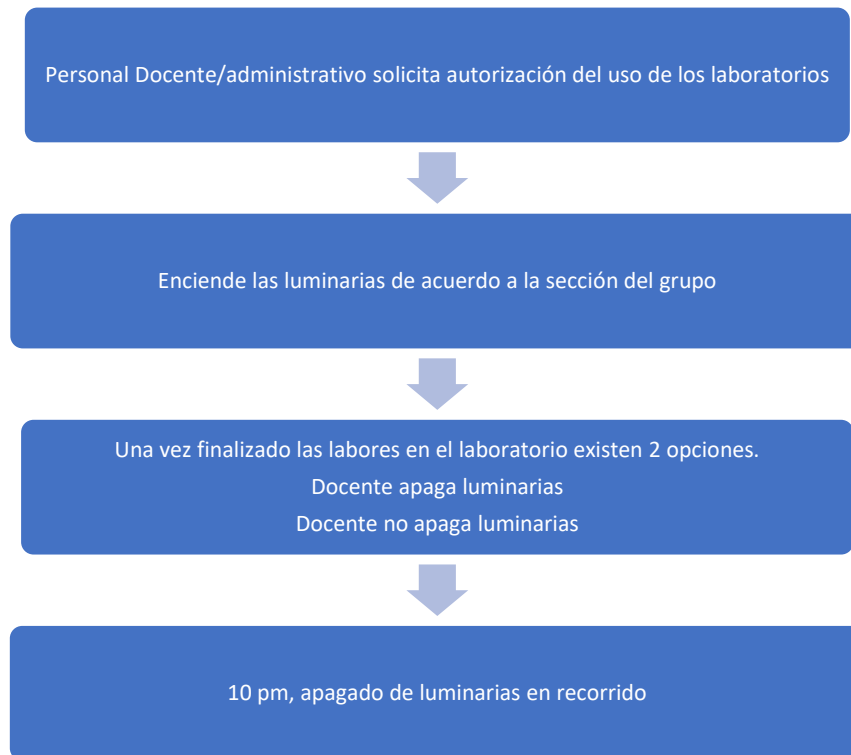


Figura 5. Proceso de apagado de luminaria

Fuente: Elaboración Propia

4.1.3 Proceso de encendido y apagado del sistema de refrigeración

El proceso de encendido y apagado del sistema de refrigeración cuenta con un esquema de trabajo similar, se encuentra un programa para el equipo de paquete que rige el encendido y apagado del sistema, el cual puede ser modificado por el personal de mantenimiento de la institución y se encuentra definido de manera predeterminada con un encendido en un horario de 8 a.m. a 10 p.m., sin embargo, en caso de que no sea suficiente se cuenta con un control manual a través de una interfaz visual proporcionada por el proveedor del equipo.

4.1.4 Instalaciones de los salones de clase del CEID

En términos de las instalaciones, como se puede visualizar en la Figura 6 cada una de las aulas de clase cuentan con un total de 7 luminarias de tubos fluorescentes de 75 W y refrigeración por ductos proveniente del mismo equipo de refrigeración de paquete que modifica la temperatura de los laboratorios. El control del encendido y apagado del sistema de refrigeración y la iluminación cuentan con un esquema similar al descrito para los laboratorios de CEID.



Figura 6. Luminarias en salones de clase

Fuente: Elaboración Propia

4.1.5 Observaciones detectadas en el proceso actual

En el proceso actual se pueden identificar distintas oportunidades de mejora para hacer más eficiente el proceso a través de un monitoreo a distancia de las instalaciones mediante una arquitectura IoT que lo permita, en específico tras la observación de un periodo de 1 semana en un horario contemplado de 8 a.m. a 10 p.m como se puede observar en la Tabla 4 en los laboratorios del CEID se identificó un periodo ocioso de por lo menos 5 horas en las que se mantuvieron encendidas las luminarias y el equipo de refrigeración sin contar con estudiantes en las instalaciones.

Tabla 4. Tiempo ocioso con luminarias encendidas

Fuente: Elaboración propia

Día	Cantidad de horas con luminarias encendidas sin alumnos en laboratorios					
	Diseño	Sustentabilidad	Robótica	Sistemas de producción	Cómputo	Animación
22/Apr/2019	3	5.5	5	4	2	0
23/Apr/2019	4	3	6	7	1	8
24/Apr/2019	5	1	3	8	0	4
25/Apr/2019	3.5	4.5	2	4	1	5
26/Apr/2019	4	5	10	6	0	2
Promedio	3.9	3.8	5.2	5.8	0.8	3.8
Promedio total	3.88					

4.2 Fase 2. Selección de parámetros a monitorear y controlar

La implementación de una plataforma de internet de las cosas que permita que existan aulas inteligentes y laboratorios inteligentes, ya que en la actualidad no se cuenta con estas funciones. Como se ha mencionado previamente, existen múltiples beneficios de utilizar esta infraestructura y en el mercado no existe una solución integral para cuestiones energéticas y de monitoreo de ocupación o seguridad de las instalaciones, por lo que se propondrá un esquema de arquitectura de redes y sistemas de adquisición de datos que lo hagan posible.

Las variables que se proponen a monitorear incluyen las siguientes:

- Temperatura, humedad, ocupación, iluminación.
- Presión de aire y consumo de agua en laboratorios

Las variables por controlar incluyen las siguientes:

- Control de acceso a laboratorios con registro de ingreso

- Control de luminarias
- Control de encendido de extractores, proyector, pantallas.

Con el propósito de seleccionar los parámetros que cuentan con una mayor facilidad para su monitoreo y control se elaboró una matriz de efectividad en la que se clasificaron los parámetros como se muestra en la Figura 7.

0- Mucho tiempo 0- Complejidad Maxima 0- Importancia Nula 10- Tiempo Nulo 10- Complejidad Nula 10- Importancia Máxima					
Parámetro/Variable	Actividad	Rapidez	Complejidad	Importancia	Total
Temperatura	Monitoreo	8	8	10	26
Humedad	Monitoreo	8	8	8	24
Ocupación	Monitoreo	7	5	10	22
Iluminación	Monitoreo	7	7	6	20
Presion de aire comprimido	Monitoreo	8	8	4	20
Presion de agua	Monitoreo	8	8	4	20
Parametro/Variable	Actividad	Rapidez	Complejidad	Importancia	Total
Acceso	Control	6	6	2	14
Iluminación	Control	5	5	10	20
Encendido Extractores	Control	7	4	8	19
Proyector	Control	7	2	10	19
Pantalla	Control	8	8	3	19

Figura 7. Matriz de efectividad

Fuente: Elaboración propia

Tomando como consideración principal la matriz de efectividad vista en la Figura 7 y el tiempo ocioso mostrado en la tabla 4, se seleccionaron como principales parámetros a monitorear los siguientes:

Temperatura, humedad, ocupación.

En cuanto a las variables por controlar se optó por mantener el control manual del sistema de refrigeración y únicamente enfocarnos al control de luminarias.

4.3 Fase 3. Sistema de IoT

4.3.1 Selección de dispositivos de adquisición de datos

Los dispositivos de hardware se dividen en dos clases de manera general, los dispositivos que actúan en base a las entradas tales como motores, focos, y los dispositivos que censan variables tales como los sensores de temperatura e iluminación. Para la selección de los componentes que componen la arquitectura propuesta, se analizaron distintas plataformas y sensores de acuerdo con los objetivos planteados.

4.3.1.1 Sensores

Los sensores utilizados en el proyecto provienen del kit de inicio de seeed debido a su facilidad de uso y al gran ecosistema de código abierto existente a su alrededor. Estos son provistos con distintos protocolos de comunicación, aunque se ha seleccionado el sistema de comunicación I2C ya que existe una gran compatibilidad con los sensores existentes en el mercado, por ende, la única restricción a considerar son las 128 direcciones virtuales determinadas por el protocolo.

4.3.1.2 Sistema de adquisición de datos

De acuerdo con las metas planteadas, se analizaron distintos sistemas embebidos y plataformas de desarrollo entre las que se encuentran Raspberry Pi, Intel Edison, y las versiones Arduino: ESP8266 and ESP32. En base a las capacidades de los dispositivos, su facilidad de acceso, la disponibilidad de soporte por parte de su comunidad y los casos de éxito en la implementación de proyectos de IoT se propone para nuestra arquitectura la utilización de los siguientes dispositivos como sistemas de adquisición de datos (Rajalakshmi & Shahnasser, 2017)

4.3.1.1 Raspberry Pi

El Sistema que se encargara de la adquisición de señales donde altas capacidades de procesamiento sean requeridas será un Raspberry Pi 3 B+, el último producto de la

serie 3, que cuenta con un procesador de 4 núcleos de 64 bits con una capacidad de 1.4 GHz, Wireless LAN de 5 GHz, Bluetooth 4.2/BLE, Ethernet, adicional incluye puertos para comunicación I2C, interfaces periféricas seriales (SPI), USB, así como entradas y salidas digitales y analógicas para conectar y controlar sensores y actuadores. En la Figura 8, se puede observar una configuración básica del dispositivo Raspberry Pi con su fuente de alimentación y su cable HDMI para visualización de su imagen.



Figura 8. Configuración adquisición señales de sensores

Fuente: Elaboración propia

4.3.1.2 Tarjeta Wemos D1 Mini

La tarjeta Wemos D1 mini es un módulo de Internet de las cosas basado en el microcontrolador ESP-8266EX que provee 4MB flash. Cuenta con 11 GPIO pines lo que lo hace adaptable a una gran variedad de sensores, adicionalmente cuenta con el beneficio de ser programado con Arduino IDE o Podenco. Cuenta con Puerto micro USB para su programación, botón de reset y antena de tipo PCB, es compatible con Android y iPhone y permite comunicación mediante protocolo I2C. Se ha comprobado su utilidad en aplicaciones de monitoreo de temperatura(Kodali & Sahu, 2016)

Wemos D1 Mini funciona como el controlador central para los procesos de bajo nivel y se encargara de recopilar la información por parte de los sensores posicionados en los salones de clase y laboratorios de innovación, así como la comunicación de la información con el servidor central, la configuración puede observarse en la Figura 9,

donde se cuenta con la conexión de un sensor de temperatura y humedad con un dispositivo Wemos D1 Mini.

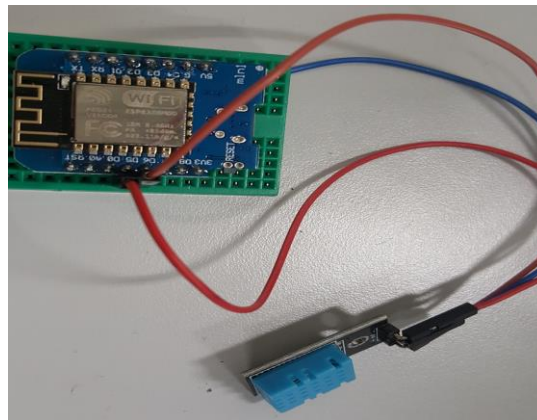


Figura 9. Configuración adquisición señales de sensores

Fuente: Elaboración propia

4.3.2 Selección de servicios de la nube

Para la selección de servicio de la nube a utilizar y en específico la base de datos a utilizar se analizó un estudio en el que se compararon las bases de datos utilizadas en publicaciones de los años 2010 a 2016 para aplicaciones de Big Data de manera exitosa, teniendo como principales candidatos las bases de tipo NoSQL, BigTable, DynamoDB, y Cassandra. Con el apoyo de las tablas comparativas proporcionadas por los autores se puede visualizar que cualquiera de las alternativas mencionadas previamente cumpliría de manera exitosa con los objetivos planteados, una vez identificado esto, se tomó la decisión de utilizar los servicios de Amazon Web Services (AWS) por la relación estratégica que tienen con CETYS universidad otorgando créditos para estudiantes y docentes, así como su beneficio añadido de activar alarmas relacionadas con la utilización de la base de datos (Kalid, Syed, Mohammad, & Halgamuge, 2017).

4.3.2.1 Amazon Web Services (AWS)

Amazon Web Services provee de una variedad de productos basados en la nube, tales como cómputo, analítica, Internet de las cosas, seguridad y almacenamiento.

(Rajalakshmi & Shahnasser, 2017). Para la realización del Proyecto se contempla la utilización de los siguientes productos:

4.3.2.2 AWS IoT

AWS IoT Amazon Web Services IoT (AWS IoT) es una plataforma en la nube desarrollada por el proveedor de servicios Amazon. No cuentan con la utilización de dispositivos ya que se utiliza el término de Things para referirse a los sistemas que pueden ser integrados (Sensores y actuadores). La lógica principal de la plataforma se centra en la utilización de un bróker de mensajes, un registro de Cosas, Thing Shadows, Rules Engine y los componentes de seguridad e identificación. Se toma como referencia de una arquitectura comercial para el Internet de las Cosas, sin embargo por los costos previstos por la utilización de esta solución no se utiliza para propósitos del diseño de arquitectura final (Guth, Breitenbücher, Falkenthal, Leymann, & Reinfurt, 2016)

4.3.2.3 AWS EC2

Amazon Web Services Elastic Compute Cloud (AWS EC2) es un servicio de web que permite iniciar máquinas virtuales en la nube de manera confiable y controlable. Su propiedad elástica permite la modificación de capacidad de una manera sencilla y rápida (en cuestión de minutos) (Rajalakshmi & Shahnasser, 2017)

Dentro del sistema propuesto, para la activación de componentes de software se requiere utilizar recursos de computo, tomando como referencia modelos de IoT exitosos en su implementación, se ha identificado como un estándar la utilización de instancias de computo de AWS EC2 para la implementación de funciones de procesamiento o despliegue de tableros de indicadores. (Im, Kim, & Kim, 2013)

4.3.2.4 AWS DynamoDB

Amazon provee bases de datos Dynamo, las cuales son totalmente administrables del tipo NOSQL, proveen de desempeño de alta velocidad, predecible y escalable. Las

principales funciones ofrecidas son: (i) su propiedad de escalabilidad y descentralización, (ii) latencias eficientes, (iii) disponibilidad, consistencia y desempeño, (iv) alta seguridad y posibilidad de conexiones sin autenticación en redes seguras (v) heterogeneidad y distribución de cargas (Kalid et al., 2017)

4.3.3 Selección de tecnologías de desarrollo web

4.3.3.1 Python-Flask Server

El núcleo del control que involucra la comunicación de los distintos periféricos está basado en un modelo de cliente-servidor, donde el servidor se encuentra monitoreando distintos eventos y nodos que simbolizan los sensores conectados al sistema a través de canales o tópicos a través de los cuales fluye la información para mantener un lazo cerrado de retroalimentación.

Al implementar este esquema, todos los subsistemas permanecen modulares, así que la detección de errores, resolución de errores y la prueba de sistema se vuelven más fáciles, de la misma manera el código se vuelve más legible y mantenible a largo plazo para su producción.

La implementación del Sistema propuesto se encuentra basada en el lenguaje de programación Python, el microframework Flask que cuenta con beneficios como su reducido tamaño y la flexibilidad en cuanto a su personalización, el contenedor de aplicaciones uWSGI y una REST (API) de alto desempeño que permita manejar grandes cantidades de información fácilmente tal como se ha propuesto en otras aplicaciones (Hossai, Shahjalal, & Nuri, 2017; Mulero, Urosevic, & Almeida, 2017; Patil, Vijayalashmi, & Tapaskar, 2017) .

4.4 Fase 4. Detección de personas

Para identificar la presencia de personas en el aula es necesario contar con un sensor que se encargue de monitorear este parámetro, existen diversos sensores que se pueden utilizar como lo es un sensor de movimiento, un sensor de presencia o una cámara.

El usar un sensor de movimiento no es una alternativa que cumple con los requerimientos ya que, si una persona se encuentra fuera del rango del sensor o se encuentra estático por más de 1 minuto, podría apagar las luces inadecuadamente, por lo que se descarta. El caso del sensor de presencia cuenta con la desventaja que puede detectar otros objetos que no sean personas y requiere de bastantes sensores para determinar con precisión si hay alguien en las inmediaciones. Finalmente, el uso de la cámara puede resolver la problemática sin desventaja alguna más el tiempo requerido en el procesamiento de la imagen, lo cual cuenta con diversas soluciones abordadas a continuación.

Sabemos que la imagen de las personas será captada por la cámara, pero surge una interrogante, ¿cómo puede saber un microcontrolador o un microprocesador que existe una persona en la imagen?, para la computadora la imagen solo es una matriz con bits de información, por lo mismo se debe implementar algún algoritmo capaz de simular el razonamiento humano e identificar que dentro de la imagen hay una persona.

La primera opción es la clasificación en tiempo real a través de algoritmos de procesamiento de imagen tradicionales, para ello se pueden buscar características únicas y distinguibles presentes en todas las personas, sin embargo, esto cuenta con un rango de error amplio ya que puede que estas características no sean detectables en ciertas orientaciones o posiciones, por lo que no es fidedigno para su uso.

La segunda opción es el procesamiento con redes neuronales convolucionales CNN, las redes neuronales convolucionales se encargan de brindar una probabilidad de que una imagen sea cierto objeto, es decir, contando con una imagen y con previo entrenamiento la red distinguiría una imagen con una persona o no, la desventaja de esto es que si se utiliza directamente múltiples cantidades de personas serían clasificadas incorrectamente.

Ahora, que tal si partimos la imagen en muchas secciones pequeñas y corremos la red neuronal convolucional en cada sección, de esta manera la cantidad de personas no afectaría al procesamiento de la imagen y se podría juzgar de manera correcta si existen personas dentro del aula, parece que esta solución es adecuada, sin embargo cuenta con una gran desventaja, correr una red neuronal convolucional requiere de una

gran cantidad de operaciones matemáticas y por ende el procesar una sola imagen en un microprocesador puede requerir hasta minutos.

Con base a este principio y buscando mejorar el tiempo de procesamiento ya se ha investigado cómo resolver este problema con solo correr la CNN una vez y seguir siendo capaz de detectar y clasificar diferentes secciones de una imagen, y en efecto ya existen algoritmos que cumplen adecuadamente con estos requerimientos, los cuales son conocidos como Single Shot Detectors, los más famosos siendo You Only Look Once YOLO y Single Shot Multi-box Detector SSD, siendo este último el algoritmo seleccionado para detectar en la imagen personas.

Se eligió el algoritmo SSD ya que brinda clasificaciones más precisas y más rápidas que YOLO. Cuenta con una precisión del 74.3% comparada con 63.4% de YOLO.(Liu et al., 2016)

Finalmente bajo experimentación se pudo comprobar la clasificación correcta de personas dentro de la imagen y corriendo el programa en el sistema de desarrollo Nvidia Jetson Nano es posible correr el algoritmo de clasificación en una imagen en menos de 30 segundos, por lo que en 10 minutos es posible clasificar al menos 20 imágenes, el algoritmo diseñado para el control de las aulas evalúa que no exista una persona dentro de las inmediaciones durante esa cantidad de tiempo, por lo que la probabilidad de no distinguir que existe alguna persona erróneamente dentro del aula en esa cantidad de tiempo es menor al 0.01% como puede apreciarse en la Tabla 5.

Tabla 5. Probabilidad de clasificación errónea de acuerdo con cantidad de imágenes

Fuente: Elaboración propia

Cantidad de imágenes	Probabilidad de que todas las imágenes sean clasificadas erróneamente
1	25.70000000%
5	0.11211549%
10	0.00012570%
15	0.00000014%
20	0.00000000%

4.5 Fase 5. Resultados

4.5.1 Implementación IoT

4.5.1.1 Diseño general del sistema IoT

Sobre los objetivos definidos previamente se priorizo la obtención de información por parte de los sensores críticos para el sistema, los cuales servirán como entrada a nuestro algoritmo de control para una retroalimentación efectiva del sistema. En específico se implementó para prueba de concepto un servidor web en base a las características definidas previamente.

4.5.1.1.1 Arquitectura Servidor Web

En cuanto a la arquitectura que será utilizada para el servidor web, el dispositivo físico donde se encuentra desarrollado es un raspberry pi con un entorno virtual en el cual se encuentran instaladas el conjunto de librerías necesarias para la comunicación, entre las cuales se encuentra Flask un *framework* de desarrollo de app web y uWSGI que tiene

como función servidor de aplicación, asimismo se encuentra configurado NGINX como servidor web para desarrollar la comunicación con los clientes mediante peticiones HTTP, como se visualiza en la Figura 10 (Rodríguez, Alfaya, Bejarano, Ortega, & Castaño, 2016).

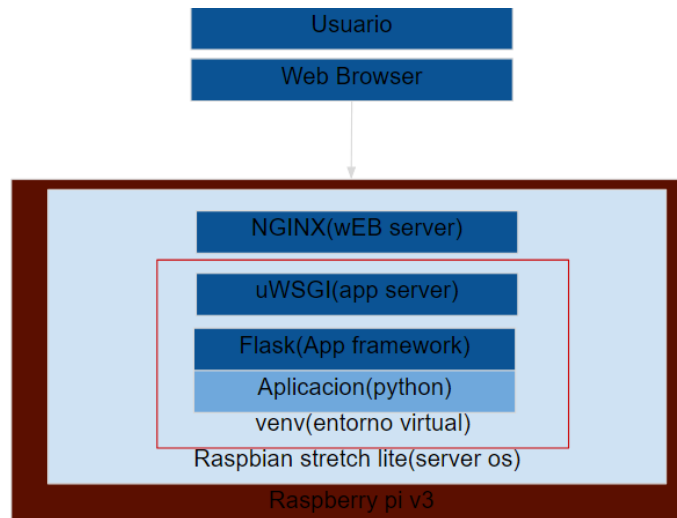


Figura 10. Arquitectura de servidor web

Fuente: Elaboración Propia

4.5.1.1.2 Arquitectura general del sistema

En cuanto a la arquitectura general que fue propuesta, se cuenta con una arquitectura lambda con dos etapas, la etapa de velocidad y la etapa de lote. En la etapa de velocidad se cuenta con los dispositivos wemos para la interacción con los sensores de humedad y temperatura, los cuales se comunican mediante un protocolo de red I2C, adicional se cuenta con posibilidad de conexión con dispositivos de automatización tales como el PLC Siemens S7-1200 a través del protocolo de comunicación OPC UA los cuales se comunican con un dispositivo raspberry pi centralizado el cual se encargara de analizar la información y en caso de ser requerido se comunica con dispositivos físicos para alertas mediante peticiones HTTP a través de un formato *REST API* como se visualiza en la Figura 11.

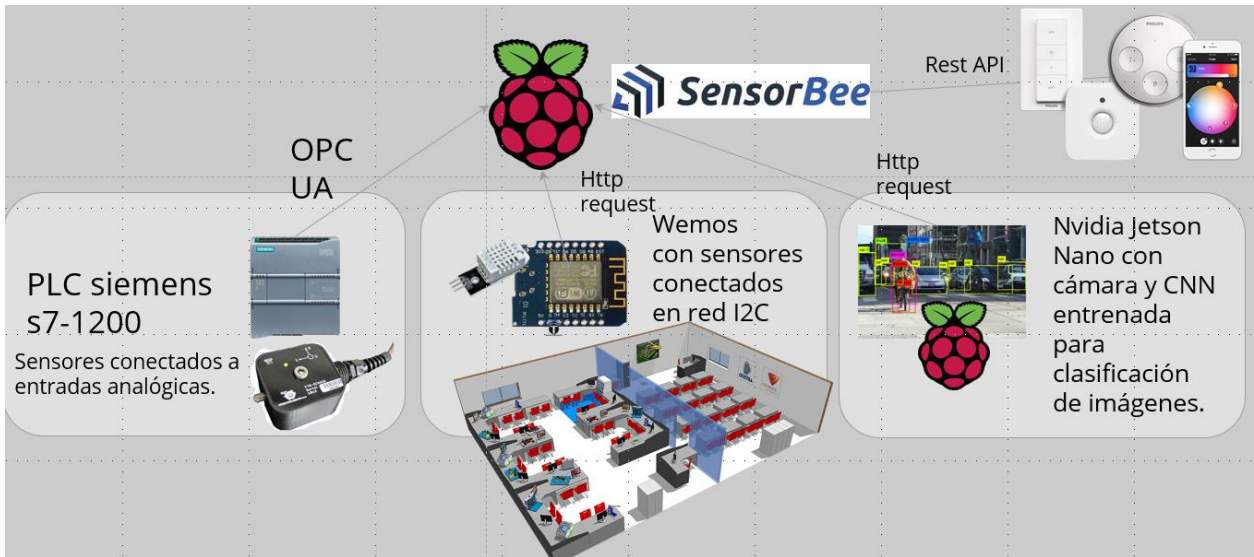


Figura 11. Arquitectura lambda Speed Layer

Fuente: Elaboración propia

En la segunda capa denominada capa de lote, como puede observarse en la Figura 12, se utilizan los datos que nos comparte el raspberry pi o el NVIDIA Jetson Nano con su aplicación de *sensorbee* y recopilándolos a través de dos aplicaciones en *containers* independientes que se ejecuta en *nodejs* en una instancia de *amazon cloud computing ec2*, la cual se comunicaría con la base de datos de *amazon dynamo db*, esto para en pasos futuros poder desarrollar una red neuronal que este aprendiendo de la información de nuestro sistema y pueda predecir eventos de falla, adicional tiene la función de enviar correos al personal de mantenimiento en caso de *haber* una situación prevista como critica, mostrar información mediante un *dashboard* desarrollado previamente y proponer cambios a los planes de mantenimiento en caso de considerarse conveniente

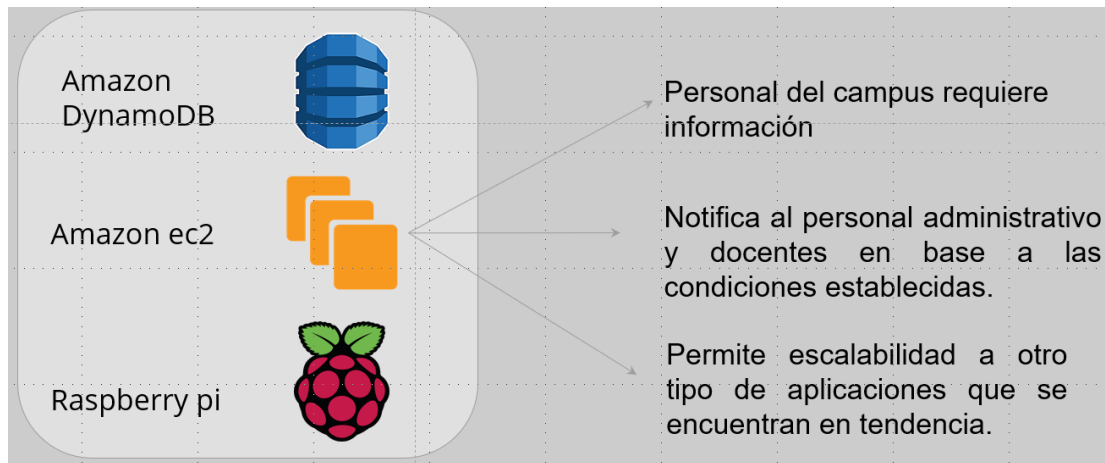


Figura 12. Arquitectura lambda Batch Layer

Fuente: Elaboración propia

4.5.2.1 Registros en Base de Datos AWS DynamoDB

Para la habilitación de la base de datos seleccionada (AWS DynamoDB) se generó una tabla denominada *SmartLabs* que para pruebas piloto cuenta con un máximo de ingreso de datos de 5 elementos en paralelo, así como 5 lecturas. En la tabla generada, se generó el esquema de tipo NoSQL de acuerdo con la Figura 13, el cual cuenta con 5 campos, el campo de identificación que define si es un salón de clases o un laboratorio el origen de la información, el índice como clave primaria, el campo *parameter* que nos menciona el parámetro que se está registrando, campo *TimeStamp* que nos proporciona la fecha y hora de registro y por último el valor que nos indica el dato medido en el establecimiento indicado.

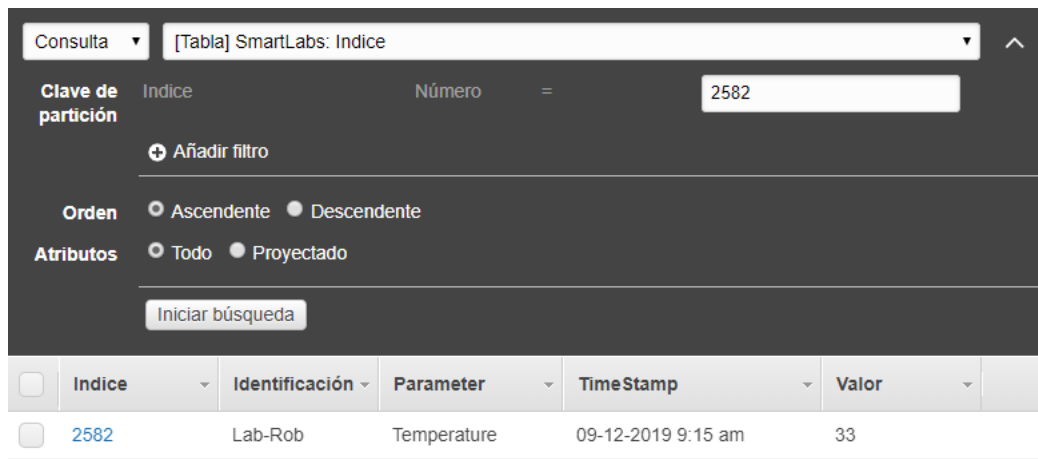
```

1 {
2   "Identificación": "Lab-Rob",
3   "Indice": 2581,
4   "Parameter": "Humidity",
5   "TimeStamp": "09-12-2019 9:13 am",
6   "Valor": "20%"
7 }

```

Figura 13. Modelo tabla SmartLabs

En la Figura 14 se pueden observar los resultados de la implementación de la nube, con énfasis en el registro 2582, a través de la AWS Console se realizó un filtrado en base al índice o ingreso de la información y se puede identificar la medición de temperatura del laboratorio de Robótica del CEID del día 12 de septiembre del 2019 a las 9:15 am, en la cual se contaba con una temperatura de 33 grados Fahrenheit.



The screenshot shows the AWS Console interface for a table named 'SmartLabs: Indice'. The search criteria are set to 'Indice' with the value '2582'. The table is sorted by 'Indice' in descending order. The visible record is:

Indice	Identificación	Parameter	TimeStamp	Valor
2582	Lab-Rob	Temperature	09-12-2019 9:15 am	33

Figura 14. Consulta de registro 2582 en AWS Console

4.5.2.2 Dashboard de comunicación de información

Para acceder fácilmente a la información recabada por los microcontroladores a través de los distintos sensores ubicados en salones y con el propósito de monitorear temperatura, humedad, ocupación, iluminación, consumo de energía, presión de aire y consumo de agua se propone el desarrollo de un servidor web que cuente con una interfaz gráfica intuitiva como se puede visualizar en la Figura 15. En la interfaz se puede visualizar el funcionamiento del sistema para el análisis de la información recabada por un sensor de temperatura, se podrá visualizar el histórico de temperaturas, así como el estado actual del equipo y los diferentes límites a partir de los cuales se notificará al personal administrativo, los cuales podrán ser modificables por los usuarios con los permisos adecuados.

Dashboard Sistema refrigeracion Evaporador

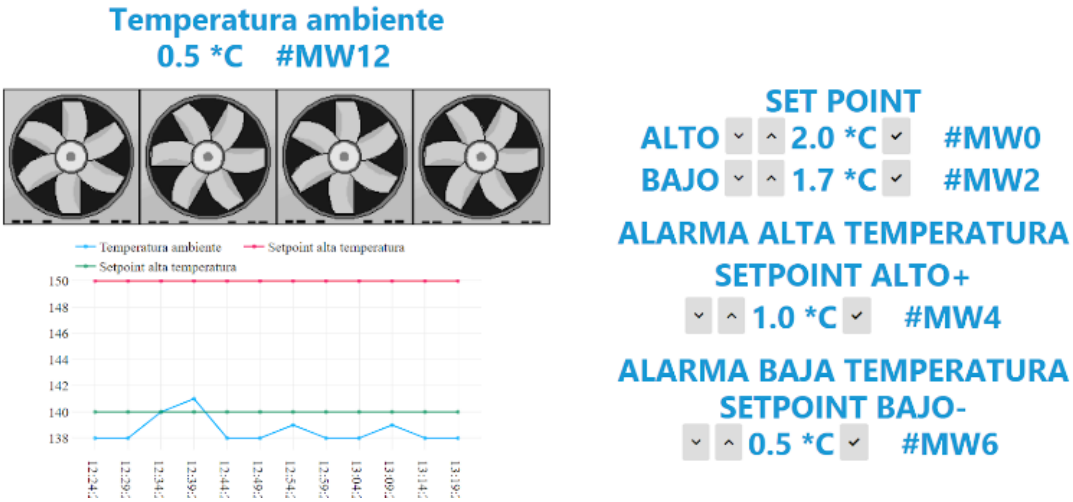


Figura 15. Servidor web

Fuente: Elaboración Propia

4.5.3 Resultados de la Implementación de sistema de detección en el aula

Tras implementar el algoritmo SSD en el sistema de desarrollo NVIDIA Jetson Nano se obtuvieron excelentes resultados para la detección de personas, como se mencionó anteriormente la probabilidad de clasificar erróneamente a una persona y realizar el apagado de luces inadecuadamente es menor al 0.01%, en la Figura 16 puede observarse la configuración utilizada en el sistema de desarrollo, donde el sensor utilizado (cámara C920 de Logitech) es conectado por medio de conexión USB, la fuente de alimentación y su conexión con la red ethernet se encuentran visibles.



Figura 16. Sistema de desarrollo NVIDIA Jetson Nano

Fuente: Elaboración Propia

En las Figuras 17 y 18 se muestra de manera visual por medio de una comparativa la imagen contra el resultado del algoritmo seleccionado que clasifica a los objetos gracias a la red neuronal.

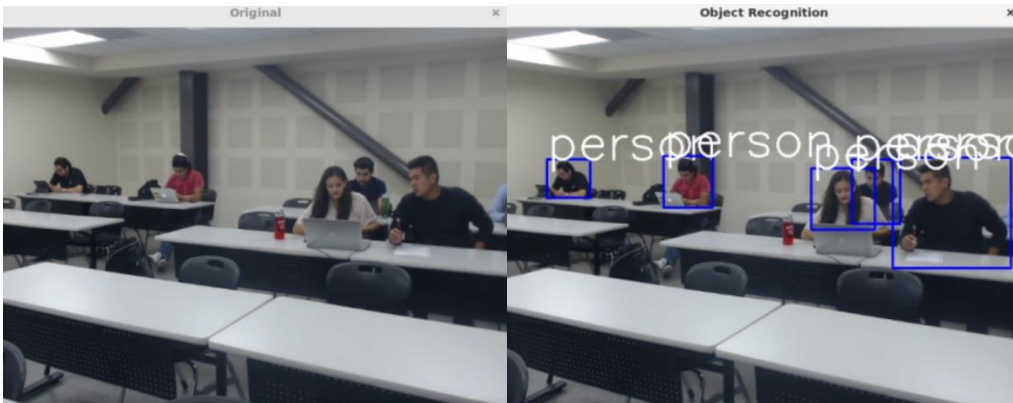


Figura 17 Comparativa imagen original e imagen con personas detectada a través de SSD en aula 28108

Fuente: Elaboración Propia

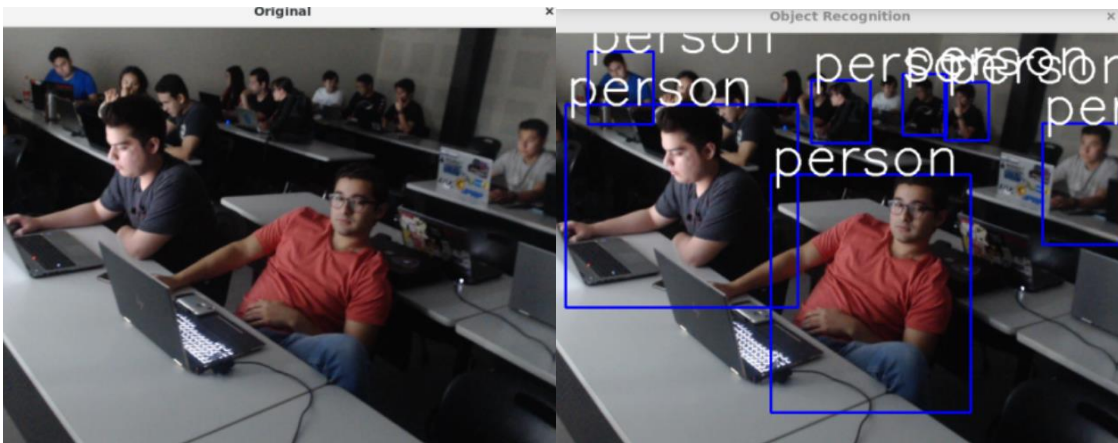
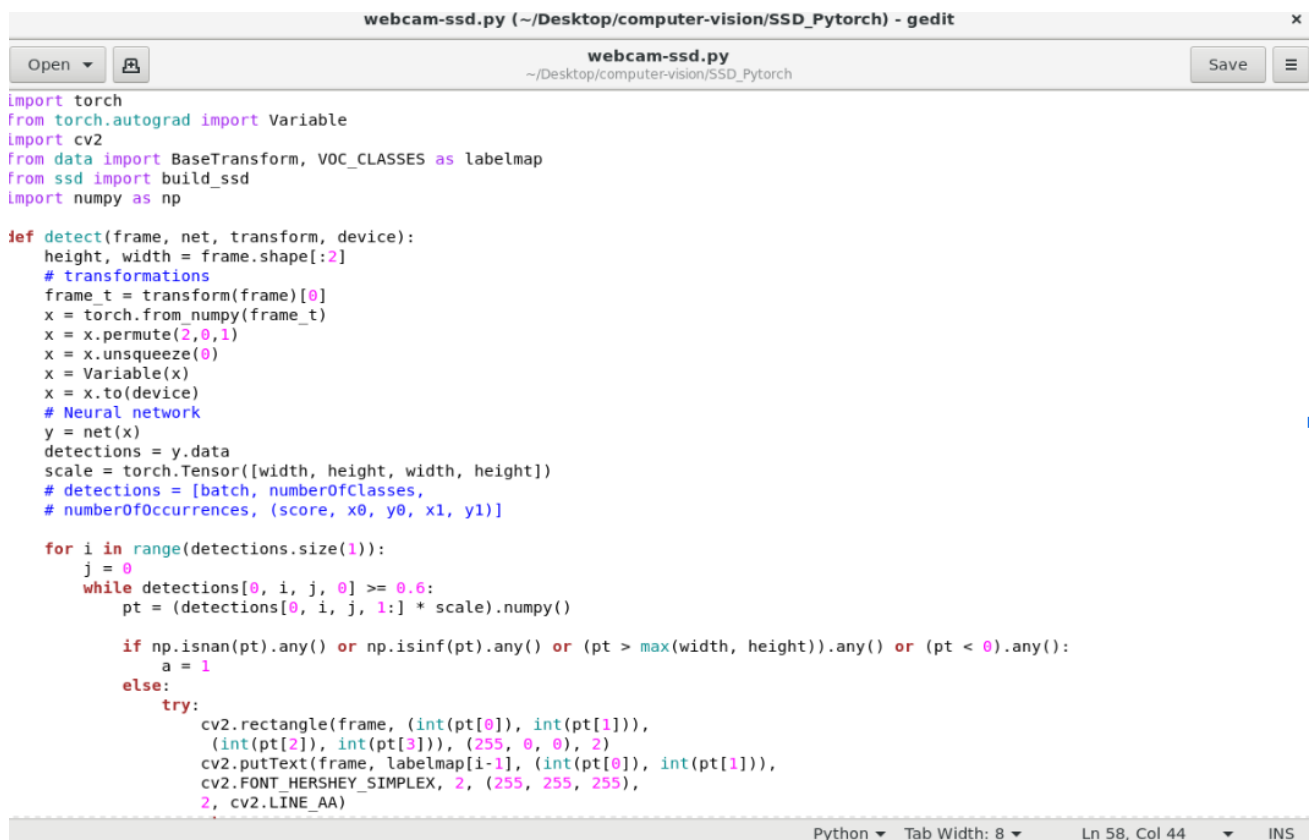


Figura 18. Comparativa imagen original e imagen con personas detectadas a través de SSD aula 28108

Fuente: Elaboración Propia

En cuanto a los detalles de la implementación del algoritmo, el desarrollo fue realizado en el lenguaje de programación Python teniendo como nombre de archivo el

programa webcam-ssd.py como puede observarse en la Figura 19, el algoritmo base fue modificado para poder ejecutarse con la tarjeta gráfica del dispositivo aumentando su tiempo de respuesta y por ende mejorando su desempeño a través de CUDA, adicional se implementó la librería cv2, también conocida como OpenCv para Python para darle las capacidades aumentadas adicionales a la detección de la presencia de las personas de conocer la cantidad y delimitar con un cuadro donde se ubica cada persona. Otra característica que hace este sistema tan robusto es que puede que la persona no salga completamente en la imagen y aun así clasifica correctamente la imagen como puede observarse en la Figura 20.



```
webcam-ssd.py (~/Desktop/computer-vision/SSD_Pytorch) - gedit
webcam-ssd.py
~/Desktop/computer-vision/SSD_Pytorch
Save

import torch
from torch.autograd import Variable
import cv2
from data import BaseTransform, VOC_CLASSES as labelmap
from ssd import build_ssd
import numpy as np

def detect(frame, net, transform, device):
    height, width = frame.shape[:2]
    # transformations
    frame_t = transform(frame)[0]
    x = torch.from_numpy(frame_t)
    x = x.permute(2,0,1)
    x = x.unsqueeze(0)
    x = Variable(x)
    x = x.to(device)
    # Neural network
    y = net(x)
    detections = y.data
    scale = torch.Tensor([width, height, width, height])
    # detections = [batch, numberOfClasses,
    # numberOfOccurrences, (score, x0, y0, x1, y1)]

    for i in range(detections.size(1)):
        j = 0
        while detections[0, i, j, 0] >= 0.6:
            pt = (detections[0, i, j, 1:] * scale).numpy()

            if np.isnan(pt).any() or np.isinf(pt).any() or (pt > max(width, height)).any() or (pt < 0).any():
                a = 1
            else:
                try:
                    cv2.rectangle(frame, (int(pt[0]), int(pt[1])),
                        (int(pt[2]), int(pt[3])), (255, 0, 0), 2)
                    cv2.putText(frame, labelmap[i-1], (int(pt[0]), int(pt[1])),
                        cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 2, (255, 255, 255),
                        2, cv2.LINE_AA)
                except:
                    pass

Python Tab Width: 8 Ln 58, Col 44 INS
```

Figura 19. Implementación red neuronal clasificatoria

Fuente: Elaboración propia

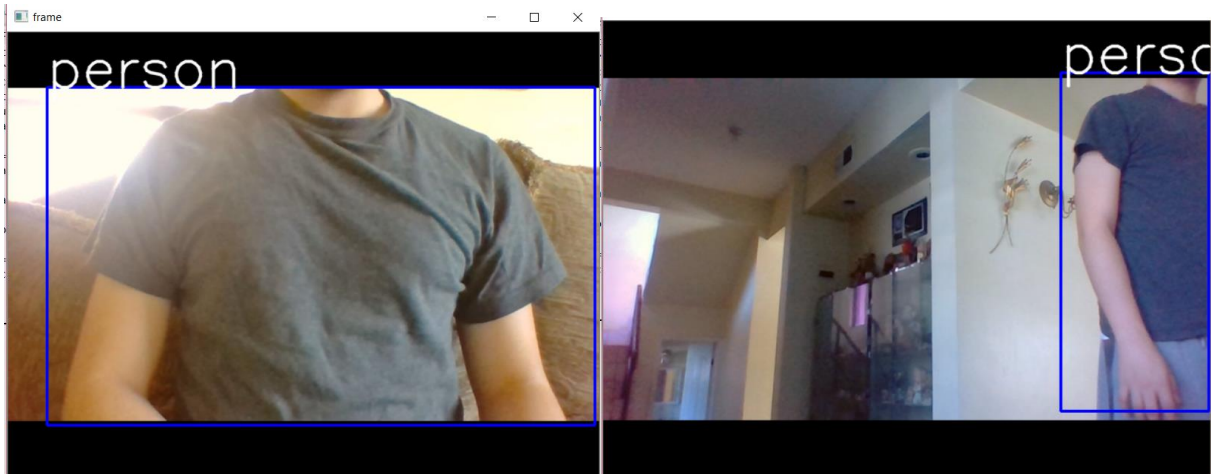


Figura 20. Detección robusta de personas

Fuente: Elaboración Propia

Por último en la Figura 21 se muestra la salida de la consola del sistema de desarrollo en la cual la cantidad de personas es contabilizada y mediante su texto de identificación y periodo de tiempo en el cual fue detectado el personal se comunica mediante una red ethernet a la base de datos de AWS dynamoDB para lograr la persistencia de la información.

```
dlinano@jetson-nano: ~/Desktop/computer-vision/SSD_Pytorch
File Edit View Search Terminal Help
cantidad de personas: 3
cantidad de personas: 1
cantidad de personas: 2
cantidad de personas: 2
cantidad de personas: 2
cantidad de personas: 2
cantidad de personas: 2
cantidad de personas: 2
cantidad de personas: 3
cantidad de personas: 3
cantidad de personas: 3
cantidad de personas: 3
cantidad de personas: 2
cantidad de personas: 1
cantidad de personas: 3
cantidad de personas: 4
cantidad de personas: 3
cantidad de personas: 3
cantidad de personas: 3
cantidad de personas: 3
cantidad de personas: 3
cantidad de personas: 5
cantidad de personas: 4
```

Figura 21. Impresión en terminal del sistema de desarrollo

Fuente: Elaboración Propia

4.5.4 Costos de la Implementación y retorno de inversión

El desglose de los componentes del sistema piloto para el monitoreo de salones de clase y laboratorio de CEID, así como la toma de decisiones adecuadas para el control del sistema de refrigeración se puede visualizar en la Tabla 6, donde se puede apreciar que la inversión realizada para el monitoreo de un laboratorio es de \$5,970 MN.

Tabla 6. Lista de Materiales utilizados para el monitoreo de laboratorio.

Fuente: Elaboración propia

Componente seleccionado	Cantidad	Costo	Costo total
Tarjeta Wemos D1 Mini	4	250	1000
Nvidia Jetson Nano Developer Kit	1	2910.76	2910.76
Fuente De Alimentación Raspberry Pi Micro USB 5V/3A 5V/2.5A	5	120	600
Módulo de cámara para Raspberry Pi (1080 p, sensor OV5647, carcasa transparente y cable de 15 pines, 5 MP)	1	300	300
Módulo de sensor fotosensible de detección de intensidad de luz digital	4	260	1040
DHT22/AM2302 Sensor Humedad Temperatura	2	60	120
Costo total			5970.76

Con la visualización de la Tabla 7, se puede observar que la inversión realizada para el monitoreo de un salón de clases es de \$6,270 MN.

Tabla 7. Lista de materiales utilizados para el monitoreo de un aula de clase

Fuente: Elaboración propia

Componente seleccionado	Cantidad	Costo	Costo total
Tarjeta Wemos D1 Mini	4	250	1000
Nvidia Jetson Nano Developer Kit	1	2910.76	2910.76
Fuente De Alimentación Raspberry Pi Micro USB 5V/3A 5V/2.5A	5	120	600
Módulo de cámara para Raspberry Pi (1080 p, sensor OV5647, carcasa transparente y cable de 15 pines, 5 MP)	2	300	600
Módulo de sensor fotosensible de detección de intensidad de luz digital	4	260	1040
DHT22/AM2302 Sensor Humedad Temperatura	2	60	120
Costo total			6270.76

Comparando los costos actuales de la utilización ociosa de las luminarias, en el caso de los laboratorios, de acuerdo con la Tabla 8 se puede observar que esto representa un costo de \$84 al día por laboratorio.

Tabla 8. Costo de utilización ociosa de luminarias en salones de clase

Fuente: Elaboración propia

Concepto	Cantidad de Kw	Cantidad	Kwh	Horas ociosas/día	Cantidad desocupada
Luminarias Laboratorio	0.2	20	4	8	32
Concepto considerando tarifa 2	Costo kWh	Costo total			
Variable (Energía)	2.65	\$ 84.80			
Distribución	86.82	\$ -			
Capacidad	2	\$ -			
	Costo Diario laboratorio	\$ 84.80			

Comparando los costos actuales de la utilización ociosa de las luminarias, en el caso de las aulas, de acuerdo con la Tabla 9 se puede observar que esto representa un costo de \$60 al día por laboratorio.

Tabla 9. Costo de utilización ociosa de luminarias en aulas de clase

Fuente: Elaboración propia

Concepto	Cantidad de Kw	Cantidad	Kwh	Horas ociosas/día	Cantidad desocupada
Luminarias Laboratorio	0.2	14	2.8	8	22.4
Concepto considerando tarifa 2	Costo kWh	Costo total			
Variable (Energía)	2.65	\$ 59.36			
Distribución	86.82	\$ -			
Capacidad	2	\$ -			
	Costo Diario laboratorio	\$ 59.36			

Tomando como referencia la Tabla 10, se puede asumir que la utilización de la arquitectura planteada es factible para el monitoreo continuo de las instalaciones de laboratorios y aulas, considerando que el retorno de inversión es menor a 4 meses para ambos.

Tabla 10. Retorno de inversión

Fuente: Elaboración propia

Concepto	Inversion total	Costo/día	Retorno de inversion en días	Retorno de inversion en meses
Luminarias Laboratorio	\$ 5,970.76	\$ 84.80	70.41	2.35
Luminarias aulas	\$ 6,270.76	\$ 59.36	105.64	3.52

Por último, en base a la utilización manual del dispositivo en un periodo de las 8:00 am a las 10:00 pm, de acuerdo a la utilización del prototipo en las instalaciones del CEID, tomando como referencia la Tabla 11, se realizaron las intervenciones manuales del apagado y encendido de las luminarias en los laboratorios y se puede observar que existe un 23.78% de ahorro en gasto energético relacionado a las luminarias.

Tabla 11. Cantidad de horas de consumo evitadas

Fuente: Elaboración Propia

Día	Cantidad de horas de consumo ahorrado en laboratorios					
	Diseño	Sustentabilidad	Robótica	Sistemas de producción	Cómputo	Animación
9/Sep/2019	2	1.5	1.2	5	1	1.1
10/Sep/2019	1	2	3	2	1	8
11/Sep/2019	2	3	1	3	1	4
12/Sep/2019	3.5	4.5	2	4	2	5
13/Sep/2019	4	3	5	5	3	2
Promedio	2.5	2.8	2.4	3.8	1.6	4.02
Promedio total	2.85					
%Ahorro	23.78%					

Capítulo 5: Discusión, conclusiones y recomendaciones

De acuerdo con el objetivo de desarrollar un sistema que permita reducir el impacto ambiental producto del consumo energético en aulas y laboratorios, la arquitectura planteada ayuda a confirmar la hipótesis planteada basada en la reducción de consumo energético mostrada en la Tabla 11, utilizando la herramienta ahora se pueden tomar decisiones de manera más rápida para definir qué camino seguir al momento de controlar los sistemas de refrigeración e iluminación.

Este proyecto se desarrolló mediante una metodología mixta dividida en 5 fases, basadas en investigación exploratoria, automatización y prueba.

5.1 Fase 1. Definición

En la primera etapa se realizó una investigación interna en las instalaciones de CEID, en específico en laboratorios y aulas de clase con el fin de identificar el proceso actual de control y monitoreo de recursos que tienen un impacto energético, así como con el soporte de un proceso de observación detectar gastos energéticos innecesarios que pudieran evitarse utilizando una nueva metodología de control y monitoreo.

5.2 Fase 2. Selección de parámetros a monitorear y controlar

Como resultado de la segunda fase se encontraron 4 parámetros que son contemplados en el proceso de monitoreo y control de laboratorios y aulas en el CEID. Los parámetros que se decidieron monitorear basados en los resultados de la fase 1 y2, fueron la temperatura, humedad y la ocupación por su rapidez, baja complejidad y alta importancia, en cuanto al control se optó por un control manual de las variables y la propuesta de sistema de control de luminarias.

5.3 Fase 3. Sistema de IoT

En la fase 3 se evaluaron las alternativas existentes de dispositivos microcontroladores para la adquisición de los parámetros seleccionados en la fase 2 y se seleccionó la mejor opción para su implementación, adicional se evaluaron los

servicios de la nube existentes que permitieron la comunicación efectiva de la información, así como los métodos de persistencia de información con menor costo existentes en el mercado. Por último, de las tecnologías web existentes se evaluaron las alternativas y se diseñó una arquitectura que permitiera la interconexión de dispositivos, servicios de la nube y las bases de datos.

5.4 Fase 4. Detección de personas

En la fase 4 se evaluaron las alternativas existentes de sensores y algoritmos para la detección de personas de acuerdo al estado del arte, se seleccionó el dispositivo de hardware, el sensor a utilizar y el algoritmo (Single Shot Multi-box Detector SSD) por su efectividad para el desarrollo efectivo del proceso de clasificación de imágenes y conteo.

5.5 Fase 5. Resultados

En la fase 5 se utilizó la arquitectura creada en las fases 3 y 4, y mediante un prototipo piloto se realizó la comunicación de los datos recabados por el dispositivo microcontrolador con su respectiva implementación de código seleccionado hacia el servidor con las tecnologías web localizado en la nube y a su vez la persistencia de la información mediante la base de datos AWS DynamoDB. Se evaluó el sistema durante el periodo de 1 día contemplado entre 8:00 am a 10:00 pm para el laboratorio de robótica y el salón de clases 28108 de las instalaciones de CEID y se observó el registro de manera efectiva la información en la base de datos de la temperatura, ocupación y humedad, así como su representación en el pizarrón de indicadores. Lo que permite una nueva alternativa de monitoreo de la ocupación en las instalaciones del CEID.

5.6 Conclusión general

Como conclusión final, se cumplió con el objetivo de desarrollar un sistema que permita reducir el impacto ambiental producto del consumo energético en aulas y laboratorios que no se encuentren en uso por estudiantes o personal de la institución en el Centro de Excelencia Innovación y Diseño (CEID) mediante la propuesta planteada de control y monitoreo de los laboratorios y aulas del CEID de manera más rápida y automatizada, cumpliendo satisfactoriamente con la hipótesis de obtener una potencial

reducción de al menos un 10% del impacto ambiental. Lo que también puede ser traducido en dinero, en reducción del impacto ambiental, un mayor nivel de confianza con la comunidad o la oportunidad de dedicar el tiempo previamente utilizado para el monitoreo manual y el control en otras actividades. Y lo mejor es que la herramienta fue programada para poderse utilizar para otros sistemas similares como las aulas y laboratorios existentes en las instalaciones de preparatoria y profesional, así como otros campus de CETYS u otras instituciones educativas.

A partir de la presente investigación se puede concluir que es posible implementar un sistema que utilice el internet de las cosas y algoritmos del estado del arte de programación para monitorear y controlar las instalaciones de CETYS Universidad e inclusive universidades del resto del mundo, como se mostró en los resultados los consumos energéticos disminuyeron y se minimizó el costo de este, por lo que se recomienda extender el uso de este sistema en todos los campus de la universidad.

5.7 Recomendaciones

Como recomendaciones para futuros trabajos, se puede utilizar una técnica similar para la selección de cualquier otro parámetro a monitorear de acuerdo a la matriz de efectividad propuesta en la Figura 7.

5.8 Líneas de investigación futuras

Entre las futuras líneas de investigación que se originan de este proyecto, se contempla la adaptación de la arquitectura planteada para controlar otros dispositivos como instrumentos para impartir clases ya sean proyectores, monitores, computadoras, entre otros, y estos también pueden ser encendidos y apagados para optimizar su consumo energético. Se pueden implementar sensores adicionales para brindar redundancia al sistema, es decir, en caso de algún malfuncionamiento con el sensor redundante, el sistema puede seguir en operación e inclusive, brindar una señal de cambio al encargado del sistema para su mantenimiento.

Referencias

- D'Angelo, G., Ferretti, S., & Ghini, V. (2017). Multi-level simulation of Internet of Things on smart territories. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 73, 3–21. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.simpat.2016.10.008>
- Daziano, R. A., Sarrias, M., & Leard, B. (2017). Are consumers willing to pay to let cars drive for them? Analyzing response to autonomous vehicles. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 78, 150–164. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2017.03.003>
- Ding, W., Zhang, S., & Zhao, Z. (2017). A collaborative calculation on real-time stream in smart cities. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 73, 72–82. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.simpat.2017.01.002>
- Guth, J., Breitenbücher, U., Falkenthal, M., Leymann, F., & Reinfurt, L. (2016). Comparison of IoT platform architectures: A field study based on a reference architecture. In *2016 Cloudification of the Internet of Things (CIoT)* (pp. 1–6). <https://doi.org/10.1109/CIOT.2016.7872918>
- Hipwell, S. (2014). Developing smart campuses — A working model. In *2014 International Conference on Intelligent Green Building and Smart Grid (IGBSG)* (pp. 1–6). <https://doi.org/10.1109/IGBSG.2014.6835169>
- Hossai, M. R. T., Shahjalal, M. A., & Nuri, N. F. (2017). Design of an IoT based autonomous vehicle with the aid of computer vision. In *2017 International Conference on Electrical, Computer and Communication Engineering (ECCE)* (pp. 752–756). <https://doi.org/10.1109/ECACE.2017.7913003>
- Im, J., Kim, S., & Kim, D. (2013). IoT Mashup as a Service: Cloud-Based Mashup Service for the Internet of Things. In *2013 IEEE International Conference on Services Computing* (pp. 462–469). <https://doi.org/10.1109/SCC.2013.68>
- Kalid, S., Syed, A., Mohammad, A., & Halgamuge, M. N. (2017). Big-data NoSQL databases: A comparison and analysis of “Big-Table”, “DynamoDB”, and “Cassandra.” In *2017 IEEE 2nd International Conference on Big Data Analysis*

(ICBDA)(pp. 89–93). <https://doi.org/10.1109/ICBDA.2017.8078782>

Kiran, M., Murphy, P., Monga, I., Dugan, J., & Baveja, S. S. (2015). Lambda architecture for cost-effective batch and speed big data processing. In *2015 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)* (pp. 2785–2792). <https://doi.org/10.1109/BigData.2015.7364082>

Kodali, R. K., & Sahu, A. (2016). An IoT based weather information prototype using WeMos. *Proceedings of the 2016 2nd International Conference on Contemporary Computing and Informatics, IC3I 2016*, (1), 612–616. <https://doi.org/10.1109/IC3I.2016.7918036>

Liu, W., Anguelov, D., Erhan, D., Szegedy, C., Reed, S., Fu, C.-Y., & Berg, A. C. (2016). SSD: Single Shot MultiBox Detector BT - Computer Vision – ECCV 2016. In B. Leibe, J. Matas, N. Sebe, & M. Welling (Eds.) (pp. 21–37). Cham: Springer International Publishing.

Mulero, R., Urosevic, V., & Almeida, A. (2017). Linked open data management in ambient assisted cities. In *2017 IEEE SmartWorld, Ubiquitous Intelligence & Computing, Advanced & Trusted Computed, Scalable Computing & Communications, Cloud & Big Data Computing, Internet of People and Smart City Innovation (SmartWorld/SCALCOM/UIC/ATC/CBDCom/IOP/SCI)* (pp. 1–8). <https://doi.org/10.1109/UIC-ATC.2017.8397505>

Patil, S. M., Vijayalashmi, M., & Tapaskar, R. (2017). IoT based solar energy monitoring system. In *2017 International Conference on Energy, Communication, Data Analytics and Soft Computing (ICECDS)* (pp. 1574–1579). <https://doi.org/10.1109/ICECDS.2017.8389711>

Rajalakshmi, A., & Shahnasser, H. (2017). Internet of Things using Node-Red and alexa. In *2017 17th International Symposium on Communications and Information Technologies (ISCIT)* (pp. 1–4). <https://doi.org/10.1109/ISCIT.2017.8261194>

Rodríguez, D., Alfaya, J. A., Bejarano, G., Ortega, M. G., & Castaño, F. (2016). Steady-state parameter estimation of an experimental vapour compression refrigeration

plant. In *2016 European Control Conference (ECC)* (pp. 43–48).
<https://doi.org/10.1109/ECC.2016.7810261>

Whitmore, A., Agarwal, A., & Da Xu, L. (2015). The Internet of Things—A survey of topics and trends. *Information Systems Frontiers*, *17*(2), 261–274.
<https://doi.org/10.1007/s10796-014-9489-2>

Xu, L. D., He, W., & Li, S. (2014). Internet of Things in Industries: A Survey. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, *10*(4), 2233–2243.
<https://doi.org/10.1109/TII.2014.2300753>

Zhang, L., Luo, Y., Tao, F., Li, B., Ren, L., Zhang, X., ... Liu, Y. (2012). *Cloud manufacturing: A new manufacturing paradigm. Enterprise Information Systems - ENTERP INF SYST* (Vol. 8). <https://doi.org/10.1080/17517575.2012.683812>