

16

Fecha de presentación: enero, 2020

Fecha de aceptación: marzo, 2020

Fecha de publicación: mayo, 2020

MONITORIZACIÓN

DE GASES CONTAMINANTES EN AMBIENTES CERRADOS USANDO WSN PARA LA TOMA DE ACCIONES PREVENTIVAS

MONITORING OF POLLUTING GASES IN CLOSED ENVIRONMENTS USING WIRELESS SENSOR NETWORKS

Orlando Erazo Moreta¹

E-mail: oerazo@uteq.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5642-9920>

Ángela R Santana Sornoza¹

E-mail: angela.santana2015@uteq.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2387-9380>

María J Vera Alarcón¹

E-mail: mariaj.vera2015@uteq.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5829-6567>

Byron Wladimir Oviedo Bayas¹

E-mail: boviedo@uteq.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5366-5917>

¹ Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Ecuador.

Cita sugerida (APA, séptima edición):

Erazo Moreta, O., Santana Sornoza, A. R., Vera Alarcón, M.J., Oviedo Bayas, B. W. (2020). Monitorización de gases contaminantes en ambientes cerrados usando WSN para la toma de acciones preventivas. *Universidad y Sociedad*, 11(4), 116-122.

RESUMEN

Las personas pasan aproximadamente el 90% en ambientes cerrados, en los que pueden existir contaminantes que son un factor de riesgo para su salud. Este trabajo tiene como finalidad diseñar un sistema de monitorización de gases contaminantes en ambientes cerrados para la toma de decisiones por parte del jefe de hogar. Se propone una red de sensores basada en Arduino para captar la presencia de gases contaminantes, posteriormente enviar estos datos a la app móvil Blynk la cual permite enviar reportes y alertas que ayudan a tomar acciones preventivas. Los resultados demuestran un alto porcentaje en la correcta funcionalidad del prototipo con respuestas en tiempo real y certeras, logrando informar oportunamente para realizar acciones preventivas según el nivel de gravedad del caso.

Palabras clave: Alertas, magnitudes físicas, tecnología, red de sensores.

ABSTRACT

People spend approximately 90% in closed environments, in which there may be contaminants that are a risk factor for their health. The purpose of this work is to design a monitoring system for polluting gases in closed environments for decision making by the head of household. A sensor network based on Arduino is proposed to capture the presence of pollutant gases, then send these data to the Blynk mobile app which allows you to send reports and alerts that help you take preventive actions. The results demonstrate a high percentage in the correct functionality of the prototype with real-time and accurate responses, being able to inform in a timely manner to perform preventive actions according to the level of severity of the case.

Keywords: Alerts, physical quantities, technology, sensor network.

INTRODUCCIÓN

Cada año, cientos de millones de personas sufren de enfermedades respiratorias y otras asociadas con la contaminación del aire, tanto en ambientes interiores como exteriores (Boldo, 2016). La calidad de aire que se respira en ambientes cerrados es un factor de importancia (Ricárdez, 2019), cada vez es mayor el tiempo en que las personas permanecen durante la jornada diaria en ambientes interiores en los cuales el aire puede estar 10 veces más contaminado que el aire exterior.

Entre los principales contaminantes del aire en interiores se encuentran el radón, el humo de tabaco, los gases contaminantes butano (C₄H₁₀); propano (C₃H₈); metano (CH₄); dióxido de carbono (CO₂); monóxido de carbono (CO), partículas de combustibles quemados, los productos químicos y los alérgenos (Ubilla & Yohannessen, 2017).

Estos contaminantes pueden ser perjudiciales para la salud de los seres humanos, pues al ingresar en el organismo por medio de la piel o la inhalación causan problemas que van desde mínimas sensaciones de incomodidad en el sistema respiratorio, desarrollo de alergias (Arduoso, 2019), aparición de rinitis, asma, problemas dérmicos hasta casos más extremos como la muerte (Yu-Cheng & Weng-Fong, 2017).

Existen varias investigaciones que aportan al desarrollo de sistemas de monitorización para la medición de gases contaminantes en ambientes cerrados. Llumiquina & Ubidia (2007), diseñaron un sistema de monitorización y control de temperatura, humedad y concentración de CO₂, de un determinado espacio para así garantizar su calidad del aire. Tomando mediciones de magnitudes físicas por medio de sensores, determinaron los niveles seguros e implementaron una interfaz con acceso al historial de valores medidos por los sensores. Con esta aplicación se logró alertar a tiempo a las personas de la presencia de gases contaminantes en niveles no aptos para su salud.

Otra investigación realizada por Bhattacharya, Sridevi & Pitchiah (2012), desarrollaron una solución inalámbrica para el monitoreo de la calidad del aire interior. La solución propuesta es medir los parámetros ambientales como temperatura, humedad, contaminantes gaseosos, aerosol, materia particulada para determinar la salud ambiental de un espacio interior. También proporcionan

información ambiental que permite controlar el sistema HVAC (Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado) en un edificio inteligente, ellos representaron los datos en términos del Índice de Calidad del Aire (AQI). Por último, desarrollaron un kit de herramientas para ver los datos de calidad del aire en vivo de las regiones desplegadas en forma de números y gráficos.

Weng-Fong, Tzu-Hsuan & Yu-Cheng (2018), realizaron un sistema de monitoreo de seguridad de la construcción en tiempo real para tecnologías de modelado de información de edificios y redes inalámbricas de sensores de gases peligrosos, que monitoree visualmente el estado de seguridad a través de una interfaz espacial de color y elimine cualquier gas peligroso automáticamente, el modelo BIM alertará a la región y una alarma y ventilador en el sitio se iniciará automáticamente para advertir y eliminar el peligro. Lo cual puede en gran medida la eficiencia en la gestión de la seguridad de la construcción y proporcionar una información de referencia importante en las tareas de rescate.

A las investigaciones se les une Sistema de monitorización de la calidad del aire integrado a IoT por Campoli Marciszack (2016), propone poder monitorear y ser consciente de las condiciones atmosféricas presentes para un contexto en particular con la finalidad de recolectar y registrar datos para su posterior procesamiento, facilitar el acceso a la información y la toma de decisiones.

Una de las principales causas de la contaminación en ambientes cerrados es la tecnología, haciendo que sea muy difícil eliminar el problema de raíz puesto que la tecnología está y estará presente en el diario vivir. Sin embargo, la misma tecnología puede contribuir en el control o mitigación de la contaminación (Aarti Rao, et al., 2017). Este proyecto tiene como finalidad implementar un sistema de monitorización en ambientes cerrados para la detección de gases contaminantes, enviar alertas y así permitir tomar decisiones preventivas en el hogar.

DESARROLLO

A continuación, se presenta la tabla 1 con la lista de materiales, tanto de hardware como de software que se utilizaron para la elaboración del prototipo. Las herramientas de hardware se adquirieron en electrónicas y las herramientas de software son de código abierto y se pueden acceder a ellas desde internet.

Tabla 1. Materiales requeridos para realizar el prototipo.

		Cantidad	Descripción
Materiales Hardware	de	3	Sensor MQ-2
		1	Sensor MQ-7
		4	Nodemcu ESP8266
		4	Cargadores de celulares de 3V
		1	Celular con sistema operativo Android
		1	Celular con sistema operativo IOS
		Característica	Descripción
Materiales Software	de	Automatización de diseño electrónico	Proteus
		Automatización de diseño electrónico	Fritzing
		Entorno de desarrollo integrado	IDE de Arduino
		Plataforma para desarrollo de interfaz gráfica	Blynk

Frente a la problemática de la presencia de gases contaminantes en ambientes cerrados, la cual puede causar enfermedades en las personas e incluso la muerte. En esta investigación se implementó una red de sensores inalámbricos que detectan en tiempo real la presencia de gases dañinos para la salud: butano (C_4H_{10}), propano (C_3H_8), metano (CH_4) y monóxido de carbono (CO_2). Posteriormente los datos obtenidos son procesados para permitir enviar alertas preventivas a los habitantes de los hogares.

La red de sensores está conformada por 4 sensores; dos sensores MQ-2 y uno MQ-7. Los cuatro circuitos de monitorización se mantienen en ubicaciones remotas dentro de la casa, como se observa en la Figura 1. Los datos adquiridos por la red de sensores inalámbricos serán procesados y enviados a la app móvil Blynk, que es un servicio en la nube, con plataforma iOS y Android para el control de Arduino, Raspberry Pi, ESP8266 y las apps a través de Internet. Permite al usuario crear proyectos con una conexión de red y un celular al que se puede agregar controles, botones, conectar un dispositivo IoT y tarjetas de desarrollo.

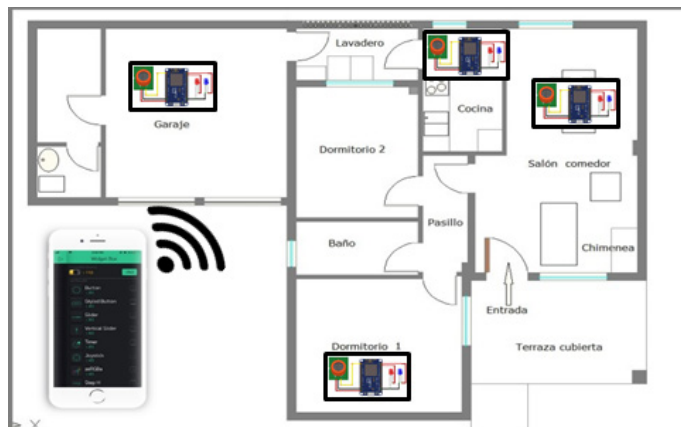


Figura 1. Ubicación de los sensores dentro del ambiente de implementación.

La relación de la resistencia del sensor a la concentración de gas es lineal en una escala logarítmica para cierto rango de concentración de gas (desde unas pocas ppm hasta miles de ppm). Los sensores se ubican en la placa nodemcu ESP8266, en conjunto con dos LEDs; uno amarillo y otro rojo (Figura 2). Los sensores tienen un rango de medición de 0.001 a 150 mg/m³ y están se comunican con el dispositivo móvil a través de LAN (red de área local).

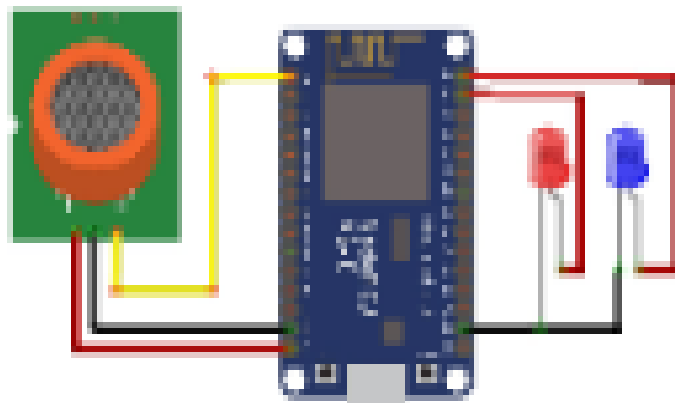


Figura 2. Conexión individual de los sensores

Los LEDs ubicados en el prototipo permiten visualizar el nivel de la alerta; presencia del gas contaminante en niveles no peligrosos para la salud de las personas (LED amarillo) o presencia del gas contaminante en niveles peligrosos (Espinoza Bonilla, Puy y Alquiza & Carreño Aguilera, 2017) para la salud de las personas (LED rojo) (Tabla 2 y 3).

Tabla 2. Distribución de los niveles de los gases naturales.

Gases	Color	Nivel	Significado	Valor máximo (ppm)
Butano Propano Metano	Naranja	Bajo	Presencia del gas, no dañino para la salud	200-400
	Rojo	Alto	Peligro máximo	401-más

Tabla 3. Distribución de los niveles del monóxido de carbono.

Gas	Color	Nivel	Significado	Valor máximo (ppm)
Monóxido de carbono	Naranja	Bajo	Presencia del gas, no dañino para la salud	7-24
	Rojo	Alto	Peligro máximo	25-más

Mediante la app Blynk los usuarios podrán visualizar los niveles de los gases contaminantes como se puede observar en la Figura 3. La interfaz muestra la lectura de los niveles del gas contaminante de cada uno de los sensores, para que el usuario pueda monitorear contestemente y en tiempo real.

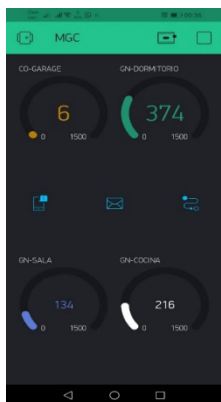


Figura 3. Interfaz de visualización de los gases contaminantes.

La monitorización se ejecuta con un tiempo de retardo de 2 segundos. Para realizar la prevención de accidentes en el hogar se enviarán alertas al correo electrónico del usuario, informando de la detección, el lugar y los niveles presentes en el ambiente. De forma gráfica se muestra la arquitectura del funcionamiento del prototipo en la Figura 4.

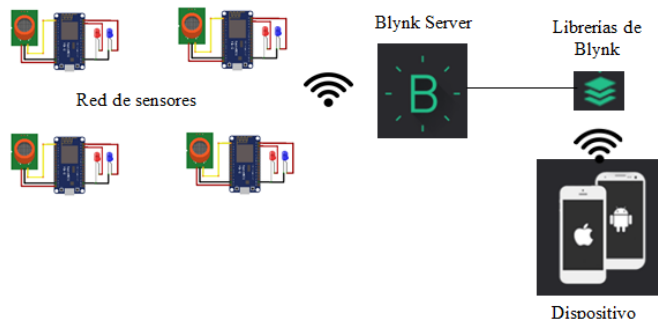


Figura 4. Arquitectura del prototipo.

Los resultados mostrados a continuación detallan cada una de las pruebas realizadas en los diferentes nodos de la red de sensores inalámbricos. Cabe recalcar que cada uno de los sectores donde estaban situados los nodos se evaluaron de manera independiente dependiendo de las características deseadas. Las pruebas se realizaron con factores controlados para simular los gases y visualizar si el lector del sensor captaba y el tiempo en el que llega el gas al sensor.

a) Pruebas para verificar el funcionamiento del circuito Mq-2

Dormitorio

Para la verificación de funcionamiento del Nodo dormitorio se realizó 18 durante 12 días. Dichas pruebas se realizaron en lapsos de tiempo detallados en la tabla 4, debido a que es necesario dejar pasar un tiempo coherente para la disipación del gas. Las pruebas se las realizaron utilizando fosforeras para simular los gases nobles como el Metano, butano y propano.

Tabla 4. Tabla de frecuencia en la que se realizó las pruebas en el nodo del Dormitorio.

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	TOTAL
Mañana	X		X		X		X		X		X		18
Tarde		X		X		X		X		X		X	
Noche	X		X		X		X		X		X		

Cocina y sala

En el sector de la cocina y sala se realizaron 21 pruebas verificando el funcionamiento del nodo durante 12 días. Las pruebas se las realizaron al dejar el pase del gas

abierto de la cocina. La frecuencia con la que se realizaron las pruebas se las refleja en la tabla 5.

Tabla 5. Frecuencia en la que se realizó las prueba en el nodo de la Cocina y Sala.

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	TOTAL
Mañana	X	X	X	X	X	X	X	21
Tarde	X	X	X	X	X	X	X	
Noche	X	X	X	X	X	X	X	

Cabe mencionar que se optó por unir el nodo de la cocina con de la sala debido a la influencia de los gases, ya que llegaban hasta la sala con un retardo aproximado de 20 segundos en relación al de la cocina.

b) Pruebas para verificar el funcionamiento del circuito Mq-7

Garaje

Dentro del garaje se realizaron 10 pruebas para verificar el correcto funcionamiento del nodo durante 5 días suponiendo que el carro pasa en el garaje solo por la mañana y la noche. Las pruebas se las realizaron utilizando plásticos para simular el monóxido de carbono emitido por los carros que presentan daños en el motor a su vez, que ya se han deteriorado con el pasar de los años. La frecuencia con la que se realizaron estas pruebas se visualiza en la tabla 6.

Tabla 6. Frecuencia en la que se realizó las prueba en el nodo del cuarto.

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
Mañana	X	X	X	X	X
Noche	X	X	X	X	X

Cabe recalcar que de las 10 pruebas realizadas 1 fueron fallidas debido a problemas con las conexiones del circuito que fueron resueltas logrando que 9 de las 10 pruebas fueron exitosas.

Análisis de las pruebas realizadas

A continuación, mostramos un resumen de todo lo antes mencionado con respecto a la prueba de los sensores reflejada en la tabla 7.

Tabla 7. Resumen de pruebas con respecto a los sensores.

TIPO DE PRUEBA	CANTIDAD DE PRUEBAS FALLIDAS	CANTIDAD DE PRUEBAS EXITOSAS	TOTAL DE PRUEBAS
Sensor 1 (mq-2 ubicado en el dormitorio)	3	15	18
Sensor 2 y 3 (mq-2 ubicado en el cocina y sala)	3	18	21
Sensor 4 (mq-2 ubicado en el garaje)	1	9	10
TOTAL	7	42	49

Mediante los datos mostrados en la tabla 7 se realizó un gráfico porcentual de las pruebas realizadas, los cuales se visualizan en la ilustracion 5.



Figura 5. Estadística porcentual del total de las pruebas realizadas en los sensores.

De las 49 pruebas realizadas (Figura 5), los resultados reflejan que el sistema es un 86% confiable mientras que un 14 % de las pruebas determinan que el sistema no es confiable, problema que se resolvió al verificar que cada componente estuviera correctamente soldado.

c) Evaluación de la app móvil

Las pruebas realizadas a la red de sensores también fueron evaluadas por los datos que se deben enviar al celular del usuario. Se realizaron pruebas de la red de sensores en la cocina, sala, comedor y el garaje; estos capturaron a presencia de gases nobles y monóxido de carbono para enviar las alertas al dispositivo móvil.

Por otra parte, también mostramos los resultados obtenidos a través de la aplicación. Podemos evidenciar que la aplicación responde de manera positiva, cabe recalcar que el lapso que tarda en llegar los datos de la tarjeta a la aplicación ronda de 5 a 10 segundos. Lo cual aporta de manera positiva debido a que el tiempo de respuesta es rápido y permite avisar a tiempo al jefe de hogar para la toma de acciones preventivas según sea el caso. A continuación, mostramos en la tabla 8 el total de pruebas realizadas durante el desarrollo.

Tabla 8. Frecuencia en la que se realizó las prueba con respecto a aplicación de cada uno de los nodos.

Ubicación	Sensor	Recibió alerta	No recibió alerta	Total de pruebas
Dormitorio	MQ-2	14	4	18
Sala y comedor	MQ-2	17	4	21
Garaje	MQ-7	9	1	10
Total		40	9	49

Mediante los datos mostrados en la tabla 8 se realizó un gráfico porcentual de las pruebas realizadas, los cuales se visualizan en la Figura 6.



Figura 6. Estadística porcentual del total de las pruebas realizadas de la aplicación.

De un total de 49 pruebas realizadas a la aplicación del usuario el 18% no tuvieron éxito debido a la conectividad del internet, pues él envió de datos es en tiempo real y requiere de una conexión a internet estable. El 82% restante fueron pruebas exitosas cumpliendo con los objetivos planteados.

A continuación, se mostrarán algunos de los resultados obtenidos mediante la aplicación en las pruebas del funcionamiento de la Red de sensores inalámbricos vinculadas a la app.

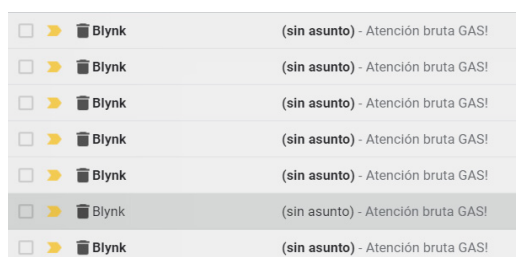


Figura 7. Notificaciones recibidas en el correo electrónico.

La Figura 7 muestra las notificaciones enviadas al correo electrónico desde la aplicación diseñada en Blynk denominada "MGC".

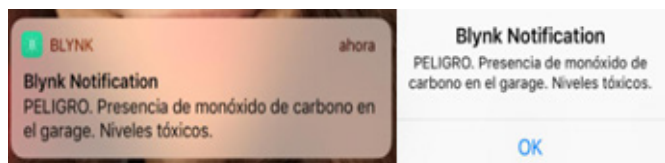


Figura 8. Notificaciones al celular.

Simultáneamente el sistema envía notificaciones al celular del usuario, como se puede observar en la Figura 8, y finalmente actualiza los niveles del gas contaminante en la aplicación (Figura 9).

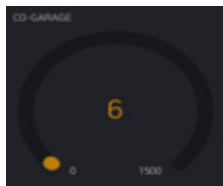


Figura 9. Nivel de CO mostrado en la aplicación.

CONCLUSIONES

A través del sistema basado en WSN (Wireless Sensors Network) se logró monitorear la presencia de varios gases contaminantes en ambientes cerrados, así como los niveles en que se presentaron. La monitorización permitió informar oportunamente al jefe de hogar para la toma de decisiones y acciones preventivas según el nivel de gravedad del caso.

El realizar el análisis permitió determinar que la placa electrónica ESP8266 basada en Arduino debido a sus componentes, fácil manipulación y costo relativamente económico es la más idónea para utilizarla en este tipo de proyectos educativos donde se realizan prototipos. Además, determinó cada uno de los dispositivos electrónicos como el MQ2, MQ7, entre otros y herramientas de software con el fin de cumplir las características necesarias para la detección de los gases contaminantes.

Por medio de la determinación de la arquitectura de comunicación se logró simular la red de sensores para valorar su funcionamiento en un ambiente educativo y posteriormente implementar la red de sensores física que permite al sistema de monitorización evidenciar los niveles gases contaminantes dentro de la residencia.

Por medio de la plataforma de desarrollo Blynk desarrolló la aplicación para la recepción de notificaciones de los datos adquiridos por la red de sensores inalámbricos, lo cual permite alertar al usuario responsable de la vivienda ante los posibles riesgos dentro del hogar debido a la exposición a estos gases.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aarti Rao, J., Karishma, K., Pankaja, P., Kiran, M., & Gauri, S. (2017). *Environmental Monitoring Using Wireless Sensor Networks (WSN) based on IoT*. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 4(1), 1371-1378.
- Ardusso, L. (2019). Intervención ambiental en las enfermedades respiratorias. *Medicina*, 79(2).
- Bhattacharya, S., Sridevi, S., & Pitchiah, R. (2012). Indoor air quality monitoring using wireless sensor network. (Ponencia). *Sixth International Conference on Sensing Technology*. Kuala Lumpur, Malaysia.
- Boldo, E. (2016). La contaminación del aire. Instituto de Salud Carlos III.
- Campoli Marciszack, E. (2016). Sistema de monitoreo de la calidad del aire integrado a IoT. (Trabajo Final de Grado). Instituto Universitario Aeronáutico.
- Espinoza Bonilla, J. A., Puy y Alquiza, M. J., & Carreño Aguilera, G. (2017). Remediación electrocinética del aire de los túneles de la ciudad de Guanajuato. *Jóvenes en la Ciencia*, 3(2).
- Llumiquinga, J., & Ubidia, M. (2007). *Construcción de un sistema de monitoreo y control de calidad de aire en un ambiente cerrado*. (Tesis de maestría). Escuela Politécnica Nacional.
- Ricárdez, J. D. (2019). Calidad del aire en la cafetería principal de la división académica de ciencias biológicas-UJAT. *Kuxulkab*, 24(50), 5-13.
- Ubilla, C., & Yohannessen, K. (2017). Contaminación atmosférica efectos en la salud respiratoria en el niño. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 28(1), 111-118.
- Weng-Fong, C., Tzu-Hsuan, L., & Yu-Cheng, L. (2018). *A real-time construction safety monitoring system for hazardous gas integrating wireless sensor Network and Building Information Modeling*. *Sensors*, 18 (2), 436-460.
- Yu-Cheng L., & Weng-Fong, C. (2017). Applications of Hazardous Gas Monitoring Integrated WSN and BIM Technologies, In, *Underground Construction Site. Modelado integrado de información de construcción*. (pp. 287-306). National Taipei University of Technology.