

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

Implementación de Smart Trees para la creación de corredores verdes que mitiguen la huella de calor de Guayaquil.

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero en Telemática

Presentado por:

Miguel Alejandro León Monge

Luis Fernando Macías Zambrano

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2023

DEDICATORIA

Miguel León

La elaboración de este proyecto va dedicada a todos los compañeros que he conocido a lo largo de la carrera de Telemática, a los profesores que con su crítica constructiva han ayudado a una mejor formación. A mis padres que han estado apoyándome en lo material y emocional. Finalmente a los ingenieros telemáticos que me preceden y los que se formarán, que no olviden que la meta es mejorar el entorno que nos rodea.

Luis Macías

El presente proyecto lo dedico a mis compañeros y futuros estudiantes de la carrera de Telemática para que se motiven a lograr grandes proyectos y ayuden a mejorar la calidad de vida de todas las personas en este hermoso planeta. También se lo dedico a mis padres que no han dejado de apoyarme hasta este momento y a mi novia Vanessa que me ha alentado y motivado en esta última etapa universitaria.

AGRADECIMIENTOS

Miguel León

Agradecido con los profesores que han aportado en mi formación académica y profesional, mención especial al ingeniero Marín que nos impulsa a ofrecer algo más y conocer nuestro valor profesional; a Don Bonilla que con sus pasteles nos dan energía para seguir adelante. Y finalmente a mi familia que me impulsa a alcanzar mis objetivos y me apoya en todo momento.

Luis Macías

Mi más sincero agradecimiento a mis profesores de la carrera que han aportado a mi desarrollo profesional, en especial al ingeniero Marín que me ha motivado a llegar más lejos y saber mi valor como politécnico. Agradezco al club de mecatrónica por ayudarnos con la impresión 3D de una pieza para el proyecto y sus consejos para futuros trabajos.

DECLARACIÓN EXPRESA

”Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Luis Macías y Miguel León damos nuestro consentimiento para que la ESPOI realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

Miguel León

Luis Macías

EVALUADORES

Ignacio Marín

PROFESOR DE LA MATERIA

Washington Velasquez

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

Las islas de calor urbanas o huellas de calor se muestran como resultado de la expansión activa de los espacios urbanos con poca consideración de las áreas verdes. La urgencia de implementar infraestructura verde, como vías verdes, en lugar de infraestructura gris ayudará a reducir el calor de las islas urbanas al capturar carbono, proporcionando sombra y espacios recreativos dentro de la ciudad. El avance tecnológico y la aparición de dispositivos cada vez más accesibles económicamente, además del paradigma del internet de las cosas, permiten el desarrollo de proyectos que aportan a la sostenibilidad del medio ambiente. Mediante la implementación de un Árbol Inteligente que por medio de sensores y conectividad a internet, se monitorea el clima urbano en busca de zonas con mayor índice de calor. Se miden las variables necesarias y se muestran los resultados por medio de la nube de Blynk para conocer el aporte de los corredores verdes en la disminución de la huella de calor y el cuidado de los árboles requeridos. En el capítulo 1 se encontrará una recopilación de información que introduce a los tópicos que rodean la propuesta de solución, en el capítulo 2 la forma en que se busca llegar a la propuesta de solución o prototipo y los lineamientos para obtener resultados. Posteriormente el capítulo 3 comprende la obtención de resultados que corroboren el funcionamiento del prototipo y el capítulo 4 en donde se analizarán los resultados verificando que se cumplan los objetivos planteados para el desarrollo del proyecto con el funcionamiento e información obtenida.

Palabras Clave: IoT, Corredor Verde, ESP8266, WiFi, Blynk.

ABSTRACT

Urban heat islands or heat footprints appear as a result of the active expansion of urban spaces with little consideration for green areas. The urgency to implement green infrastructure, such as greenways, instead of gray infrastructure will help reduce the heat of urban islands by sequestering carbon, providing shade and recreational spaces within the city. Technological progress and the appearance of increasingly affordable devices, in addition to the Internet of Things paradigm, allow the development of projects that contribute to environmental sustainability. Through the implementation of a Smart Tree that through sensors and internet connectivity, the urban climate is monitored in search of areas with a higher heat index. The necessary variables are measured and the results are shown by means of the Blynk cloud to know the contribution of the greenways in reducing the heat footprint and the care of the required trees. Chapter 1 will show a compilation of information that introduces the topics that surround the solution proposal, in chapter 2 the way in which we seek to reach the solution proposal or prototype and the guidelines to obtain results. Subsequently, chapter 3 includes the way of obtaining results that corroborate the operation of the prototype and chapter 4 where the results will be analyzed, verifying that the objectives set for the development of the project are met with the operation and information obtained.

Keywords: IoT, Blynk, HTTP, Greenway, Cloud, WiFi, ESP8266

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
ABSTRACT	III
ABREVIATURAS	VII
SIMBOLOGÍA	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABLAS	XIII
ÍNDICE DE CODIGOS DE PROGRAMA	XV
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. PROBLEMÁTICA	2
1.2. JUSTIFICACIÓN	3
1.3. OBJETIVOS	3
1.4. ALCANCE DEL PROYECTO	4
1.5. ESTADO DEL ARTE	4
1.6. MARCO TEÓRICO	6
1.6.1. Huella de Calor	6
1.6.2. Corredores Verdes	8
1.6.3. Smart Trees	9
1.6.4. Internet of Things (IoT)	10
2. METODOLOGÍA	13
2.1. ¿Por qué es necesario un Smart Tree dentro de un corredor verde?	13
2.2. Arquitectura	14
2.2.1. Actores del sistema	14

2.2.2. Interfaz de usuario	15
2.2.3. Servicio en la nube	15
2.2.4. Smart Tree	15
2.3. Interacción del Sistema	18
2.4. Criterios de Inclusión y Exclusión	19
2.5. Métricas de evaluación	20
3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN	23
3.1. Sistema Embebido	23
3.2. Esquema de implementación del Smart Tree	25
3.3. Diseño e Impresión 3D de la caja protectora del Sistema Embebido	30
3.4. Configuración y ensamblado del Sistema Embebido	32
3.5. Mediciones para el corredor verde	35
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES	37
4.1. Resultados de pruebas del Sistema Embebido	37
4.1.1. Pruebas de latencia	37
4.1.2. Pruebas de tamaño de datos	38
4.1.3. Pruebas de carga	38
4.1.4. Pruebas de alimentación del sistema	42
4.2. Resultados de Mediciones de las Variables Ambientales	44
4.3. Análisis de recorrido para la distribución de árboles	48
4.4. Resultados de Satisfacción del Usuario	49
4.5. Conclusiones	53
4.6. Recomendaciones	54
4.7. Líneas Futuras	54
BIBLIOGRAFÍA	55
APÉNDICES	57
A. Presupuesto del proyecto	59
B. Código del controlador del Sistema Embebido	61
C. Imágenes del desarrollo del prototipo	68

ABREVIATURAS

API	Interfaz de Programación de Aplicaciones (del inglés: Application Programming Interface)
DAC	Diámetro de la Altura del Cuello
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
HTTP	Protocolo de Transferencia de Hipertexto (del inglés: Hypertext Transfer Protocol)
I2C	Circuito Inter-Integrado (del inglés: Inter-Integrated Circuit)
IDE	Entorno de Desarrollo Integrado (del inglés: Integrated Development Environment)
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
IoT	Internet de las Cosas (del inglés: Internet of Things)
LCD	Pantalla de cristal líquido (del Inglés: Liquid Crystal Display)
Li-ION	Ion de Litio (del inglés: Lithium Ion)
REST	Transferencia de Estado Representacional (del inglés: Representational State Transfer)
TIC	Tecnologías de la Información y Comunicación
WIFI	Fidelidad inalámbrica (del inglés: Wireless Fidelity)

SIMBOLOGÍA

ms	Milésima de segundo
Hz	Hertz
m	Metro
cm	Centímetro
V	Voltios
A	Amperios
mA	Miliamperios
mAh	Miliamperios por Hora
μ A	Microamperio

ÍNDICE DE FIGURAS

1.1. Ubicación geográfica tentativa del Corredor Verde	5
1.2. Ejemplos de Corredores Verdes en distintas ciudades	9
2.1. Arquitectura propuesta de la implementación del Smart Tree	15
2.2. Símbolos para el estado del árbol	16
2.3. Dispositivos para el censado y visualización de variables	16
2.4. Controlador y base de pines	17
2.5. Árbol, macetero y alimentación del proyecto	18
3.1. Diagrama de bloques del Sistema Embebido	23
3.2. Flujo de trabajo del Smart Tree	24
3.3. Esquema de implementación del sistema embebido	26
3.4. Gráficas de las variables en la interfaz de usuario	27
3.5. Gráficas lineales para mostrar datos almacenados en la nube de Blynk	28
3.6. Esquema de implementación del prototipo	29
3.7. Medidas de la tapa (en milímetros).	30
3.8. Medidas de la caja (en milímetros).	31
3.9. Caja de protección de la pantalla LCD y sensor MQ135	31
3.10. Caja de protección de la alimentación y el controlador	32
3.11. Esquemático del controlador y dispositivos conectados.	33
3.12. Prototipo del Smart Tree ensamblado	34
3.13. Partes del sistema en conjunto	34
4.1. Latencia de los datos obtenidos por los sensores	38
4.2. Tamaño de los datos captados por los sensores	39
4.3. Prueba de carga para la variable de Humedad ambiente	39
4.4. Prueba de carga para la variable de Temperatura ambiente	40
4.5. Prueba de carga para la variable de Humedad del suelo	40

4.6. Prueba de carga para la variable de calidad del aire	41
4.7. Sumario de pruebas de carga	41
4.8. Voltaje de Panel Solar	42
4.9. Mediciones de voltaje de la alimentación del sistema	43
4.10. Puntos de mediciones en las calles previstas para el corredor verde	45
4.11. Promedios de puntos de referencia en los parques de las variables de temperatura y humedad.	46
4.12. Promedios de puntos de referencia en los parques de la calidad de aire.	46
4.13. Promedios de puntos de las variables de temperatura y humedad en las calles	47
4.14. Promedios de puntos de la variable de calidad del aire en las calles	47
4.15. La distribución base de los árboles	48
4.16. Resultados a la pregunta: Luego de leer la premisa del proyecto: ¿Cómo considera al proyecto?	49
4.17. Resultados a la pregunta: Suponiendo que la implementación del corredor reduzca el tamaño de las calles, usted estaría...	50
4.18. Resultados a la pregunta: Cuando ha estado en el centro de la ciudad en un día soleado, ¿ha experimentado pesadez, mareo, sofocación o dolores de cabeza?	51
4.19. Resultados a la pregunta: En días soleados en el centro de la ciudad, ¿qué considera como un lugar fresco?	51
4.20. Resultados a la pregunta: Basado en la premisa del proyecto, ¿considera usted que con infraestructura verde se puede reducir la presencia de gases nocivos para la salud como el dióxido de carbono expulsados por vehículos y buses en la ciudad?	52
C.1. Empezando a modificar maceta del prototipo	68
C.2. Agregando ruedas a la maceta	69
C.3. Cortando material para armar estructura	70
C.4. Estructura interior de la maceta	71
C.5. Primer armado del sistema embebido	72
C.6. Modificaciones de la maceta	73
C.7. Ubicando la caja de la pantalla y sensor de aire	74

C.8. Pantalla y sensor de calidad de aire agregados a la caja protectora	75
C.9. Ubicando la caja protectora a la maceta	76
C.10.Ubicando ESP8266 en el shield	77
C.11.Ubicando circuito de alimentación y controlador a la caja negra	78
C.12.Soldando módulo de carga de baterías	79
C.13.Verificando funcionamiento de circuito alimentador y controlador	79
C.14.Pantalla y sensor de calidad de aire adheridos a la caja	80
C.15.Pegando caja a la maceta con cinta doble cara	81
C.16.Resultado de caja adherida a la maceta	82
C.17.Realizando trabajo de soldadura de las conexiones	83
C.18.Avance en el trabajo de soldadura	84
C.19.Caja negra de alimentación y controlador terminada	85
C.20.Agregando estructura de metal para sostener la maceta del árbol	86
C.21.Comprobación de conexiones al controlador	87
C.22.Resultado final del prototipado	88
C.23.Visualización de variables en la pantalla LCD	89
C.24.Mediciones en la calle	90
C.25.Mediciones en el parque Centenario	91

ÍNDICE DE TABLAS

3.1. Tabla de variables y puertos virtuales de conexión con interfaz de usuario .	26
3.2. Pines utilizados por los componentes hacia el controlador	33
A.1. Tabla de Costos de materiales	60
A.2. Tabla de Costos Salariales	61

ÍNDICE DE CODIGOS DE PROGRAMA

1. Código Smart_Tree	61
--------------------------------	----

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento de las ciudades a nivel mundial provoca que existan menos áreas verdes y más áreas de concreto que satisfacen las necesidades de sus habitantes pero afecta al medio ambiente (Stamenković y Živković, 2022). Los espacios silvestres van desapareciendo a medida que la tasa poblacional aumenta, y diversas especies de animales se ven obligados a migrar sus hogares a causa del desarrollo urbano. Ciertas especies de animales que no logran adaptarse al cambio y no encuentran un nuevo hogar van desapareciendo (Gebremichael y col., 2023). Ciudades como Barcelona (Serrano, s.f.) y Bogotá (Aponte, s.f.) han optado por la generación de corredores verdes para conectar parques y zonas arbóreas que permiten reducir la huella de calor y aportan a la sostenibilidad del medio ambiente dando hogar a los animales afectados. Los corredores verdes además de favorecer al ecosistema, incentivan a los ciudadanos a la caminata, cuidado de los espacios verdes y zonas de descanso con aire fresco. La ciudad de Guayaquil presenta altas temperaturas en los meses cercanos a la temporada de lluvias. El año pasado (2022) para el mes de diciembre la sensación térmica llegó a los 34.4 °C, según datos del INAMHI (García, s.f.), mensualmente en la ciudad de Guayaquil se registra la temperatura promedio de 32 °C. Actualmente el calor húmedo está siendo reconocido como un mayor factor indicativo de la percepción humana del calor que la temperatura del aire circundante, lo que ha motivado a que se realicen más investigaciones sobre la combinación de humedad con temperatura para el análisis del estrés por calor que es percibido por los humanos. La temperatura que se percibe dentro de las ciudades es diferente a la que se percibe en los alrededores (Yang y col., 2023). A medida que avanza el cambio climático, se espera que en las zonas urbanas alrededor del mundo se experimente una sensación más alta de calor y sequedad (Yang y col., 2023).

Las estaciones climatológicas que miden las variables ambientales se encuentran apartadas de la ciudad. Los estándares establecen que se ubiquen en zonas despejadas, por lo que, las mediciones de las áreas de las estaciones son altamente sesgadas de la realidad que existen en el interior de las ciudades (Yang y col., 2023). Es requerido medir desde la zona urbana para obtener datos reales que permitan determinar la temperatura y humedad que perciben los humanos para una correcta ubicación de un corredor verde y poder disminuir la sensación de calor.

Este proyecto propone como solución medir variables ambientales necesarias utilizando un Smart Tree en las calles a ser consideradas para el corredor verde dentro de la ciudad de Guayaquil. Los parámetros analizados permitirán contrastar con los datos existentes de la ciudad sobre las variaciones en las variables ambientales que provocan el efecto de la huella de calor. De acuerdo con el análisis se logra establecer el cuidado y control de los árboles que formarán parte del corredor verde. El Smart Tree puede ser utilizado para el estudio de otras calles y sectores de la ciudad con una huella de calor significativa que a futuro puedan ser consideradas para el desarrollo de otras áreas verdes como techos verdes, corredores verdes y cuerpos de agua que mitiguen el aumento de la temperatura.

1.1. PROBLEMÁTICA

Ciudades metropolitanas como Guayaquil con una densa zona urbana cuentan con escasas áreas verdes alejadas significativamente entre ellas. Además del abundante tráfico por la naturaleza comercial de la ciudad, las emisiones vehiculares y la falta de árboles que ayudan a mitigar el impacto térmico. Se genera una huella de calor que es fácilmente percibida por cualquier ciudadano provocándole malestar. El aumento de la temperatura por el cambio climático y la manera en que se percibe dentro de las zonas urbanas provoca un deterioro de la salud y bienestar de los transeúntes al exponerse a estrés por calor, olas de calor y eventos de calor extremo. Estas condiciones son amplificadas por los materiales usados en las construcciones que absorben el calor. El calor es retenido en las calles por el albedo del hormigón, la falta de vegetación, concentraciones masivas de automóviles, abundantes locales comerciales y la falta de cuerpos de agua que mitiguen la intensidad del calor, (Sseviiri, 2023) (Medina-Fernández

y col., 2023).

Las oleadas de calor intenso debido al clima y la huella de calor traen consigo consecuencias en la economía de las zonas afectadas debido al aumento del gasto por complicaciones con la salud, se reduce la productividad laboral por el estrés de la sensación de calor y mayor consumo en sistemas de climatización, (Sseviiri, 2023).

1.2. JUSTIFICACIÓN

La implementación de corredores verdes que conecten áreas verdes como parques, permite que se fomenten las caminatas entre dichas áreas, además de ayudar en la mitigación de la huella de calor y una alta sensación térmica en los ciudadanos. Proveyendo sombra y refugio a los transeúntes ante las olas de calor extremas. Los corredores verdes generan beneficios sociales de uso y no uso, que van más allá de constituir espacios para el esparcimiento y recreación de la población, permitiendo socializar la preservación de funciones ecológicas claves, la satisfacción de las necesidades sociales y el aumento de los niveles de integración social y ecológica, (Alvarado, 2016).

Esta iniciativa junto con la introducción de Smart Tree permitiría medir los parámetros que requiere un árbol para vivir en ese medio, perdurar y mantener los corredores en un estado óptimo. El Smart Tree también aportará a la medición de la temperatura y humedad percibida por los transeúntes, contrastando con las mediciones realizadas por los centros meteorológicos apartados de la ciudad. Además dependiendo de las zonas con mayor intensidad de calor se requieran más smart trees y por lo tanto, más corredores verdes que beneficien a la sociedad con calidad de aire y disminución de la huella de calor.

1.3. OBJETIVOS

El objetivo general es implementar un Smart Tree utilizando dispositivos IoT y procesamiento en la nube para la creación de corredores verdes que mitiguen la huella de calor en la ciudad de Guayaquil. Para lograr este objetivo se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Identificar los parámetros de un Smart Tree que permitan el cuidado y control de los árboles dentro del corredor verde.
- Desarrollar un sistema embebido con computación en la nube que obtenga, procese y muestre la información del estado anímico del árbol.
- Establecer la cantidad de árboles requeridos para el diseño de un corredor verde en la ciudad de Guayaquil.

1.4. ALCANCE DEL PROYECTO

Este proyecto se enfocará en la recopilación de datos por medio del Smart Tree a través de varias calles céntricas de la urbe. El Smart Tree contará con los sensores necesarios, dispositivos de conexión inalámbrica y pantalla para formar un sistema embebido que muestra los datos obtenidos. La pantalla indicará el estado anímico del árbol por medio de un emoji de cara feliz o cara triste. Las mediciones del ambiente se utilizarán para determinar el estrés que produce la huella de calor en los transeúntes. También las mediciones ayudan a determinar la cantidad de árboles que requiere el corredor verde para reducir la sensación térmica en los transeúntes. Los corredores verdes como infraestructura verde son fundamentales para extender los servicios ecosistémicos de los parques, teniendo que los árboles como el Smart Tree son los vehículos de control que miden las variables de interés. Las calles consideradas para el corredor verde se muestran en la figura 1.1

Las calles Avenida Pedro Moncayo, Dr. Victor Manuel Rendon y Coronel Lorenzo de Caraycoa que unen al parque La Victoria, al parque Centenario y el parque de la Madre son las consideradas para la recolección de datos. De acuerdo con los datos a ser recolectados se podrá conocer la proyección de los corredores a mayor escala.

1.5. ESTADO DEL ARTE

En esta sección se redacta información relevante sobre investigaciones e implementaciones similares al proyecto que se va a realizar. La información obtenida ayuda a reutilizar el conocimiento de otros investigadores para mejorar las implementaciones y los resultados finales.

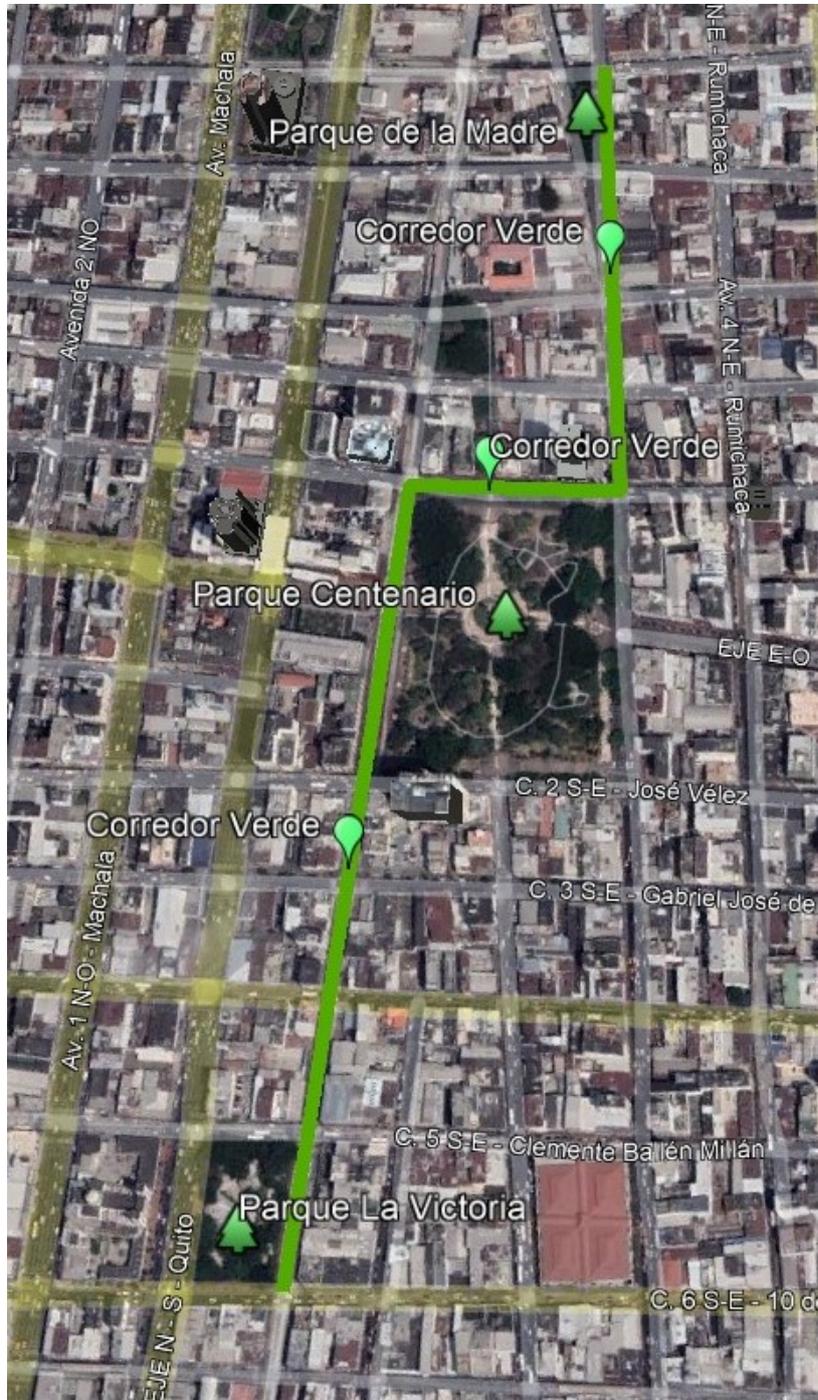


Figura 1.1: Ubicación geográfica tentativa del Corredor Verde

El uso de IoT para el monitoreo de los servicios ecosistémicos de árboles urbanos en un área verde creada en 1948 en Balchug, Moscú-Rusia, se hace el uso de árboles como *Tilia cordata*, *Acer platanoides*, *Larix sibirica* y *Betula pendula*. Usando una red de dispositivos multiparámetro, inalámbricos y de bajo costo llamado TreeTalkers; contando como base con un microprocesador ATMEGA328p, un receptor LoRa y tecnología GSM/GPRS para subir los datos recopilados a la nube. Se ve una reducción de la temperatura hasta un máximo de 3°C que demuestra la efectividad en la reducción de temperatura y disminución del calor, (Matasov y col., 2020).

En este artículo (Fortes y col., 2021) se desarrolló una propuesta de un proyecto Smart Tree. Definieron como objetivo la implementación de un área verde para la comunidad en la cual se pueda trabajar, relajarse y obtener energía limpia; además se obtienen datos ambientales por medio de un sistema inteligente IoT. Para lograr el objetivo diseñaron un esquema con 4 ejes fundamentales: arquitectura, ecologización, TIC, diseño de muebles. La infraestructura de TIC se encarga de las variables ambientales a medir, un bajo consumo de energía para los dispositivos utilizados, monitoreo y control de los parámetros del Smart Tree, entre otros aspectos. La idea se puede aplicar al proyecto que se está desarrollando en cuanto a la infraestructura para los dispositivos, las variables ambientales y el sistema IoT con las diferencias respectivas.

1.6. MARCO TEÓRICO

El cambio climático avanza a pasos gigantes lo que pone en riesgo actividades cotidianas¹. En el caso de este proyecto se utilizan los conceptos de Internet de las Cosas, sistemas embebidos y computación en la nube para la implementación de un Smart tree que permitirá estudiar las condiciones en que se forma la huella de calor dentro de la ciudad de Guayaquil.

1.6.1. Huella de Calor

Mayormente conocidos como islas de calor o islas térmicas urbanas, se refieren al gradiente térmico que se observa en espacios urbanos densamente poblados como ciudades o metrópolis y la periferia rural, (Córdova Sáez, 2011); con un patrón espacial

¹<https://www.euroresidentes.com/tecnologia/avances-tecnologicos/la-tecnologia-avanza-mas-rapido-cada-dia>

concéntrico, centrándose más en sectores donde predomina la infraestructura gris. El estudio de las islas de calor urbanas o huellas de calor en ciudades tienen una larga historia. En 1833 Howard propuso el concepto de un efecto de isla de calor urbana según la diferencia de temperatura entre las áreas urbanas y los suburbios de Londres en el siglo XIX, (Wu y col., 2021).

La transformación de los espacios naturales a través de la urbanización, que incluye el desarrollo comercial, residencial e industrial, es mayormente responsable por sus propias condiciones ambientales incluido el clima urbano, (Córdova Sáez, 2011)(Horte y Eisenman, 2020). En donde la temperatura de la superficie del terreno se ve elevada debido a la naturaleza de los materiales usados en los procesos de urbanización, como el hormigón, asfalto y baldosas; que tienen un comportamiento que conduce a la absorción de calor y emisiones, (Córdova Sáez, 2011)(Horte y Eisenman, 2020).

Entre las causas que aumentan significativamente la huella de calor se encuentran las actividades humanas, el albedo de las superficies, el diseño urbano y el calentamiento global ocasionado por el cambio climático, (He y col., 2023). Las islas térmicas urbanas suelen asociarse con anomalías superficiales de temperatura, que son más variables por la condición de contener diferentes tipos de materiales en comparación a las temperaturas del aire en el mismo lugar; y por la topografía, tienen la tendencia a ser asociados con más condiciones superficiales, (Córdova Sáez, 2011)(Horte y Eisenman, 2020). Por lo que, es primordial su medición ya que tienen impacto inmediato sobre el ambiente y el clima local, (Córdova Sáez, 2011).

Se han realizado análisis en ciudades de Changsha, Zhuzhou, y Xiangtan dentro de la provincia de Hunan-China; donde se observa que la huella de calor es mayor en las temporadas de verano, las mayores temperaturas están asociadas al día y menores temperaturas en horas de la noche. También mientras mayor sea el porcentaje de albedo de las superficies, la luz emitida por el sol se refleja y no se transforma en calor, (He y col., 2023).

Los efectos negativos de la huella de calor incluyen altos consumos energéticos, malestar térmico, enfermedades relacionadas a la salud y la contaminación del aire; principalmente el alto consumo energético que exacerba la huella de calor e incrementa las olas de calor, y que a falta de estrategias apropiadas para su mitigación, continúa el ciclo (Wu y col., 2021).

1.6.2. Corredores Verdes

Los corredores verdes también denominada infraestructura verde es una red estratégicamente planificada con espacios naturales y seminaturales que ofrecen servicios ecosistémicos, (Alvarado, 2016). A diferencia de la infraestructura gris predominante en ciudades, los elementos de la infraestructura verde son multifuncionales con capacidad para realizar diferentes funciones en la misma zona espacial, (Alvarado, 2016). Se compone de elementos como zonas protegidas, ecosistemas en alto valor ecológico, humedales, entre otros; para el sector ciudadano incluye la plantación de árboles o plantas relacionadas a lo largo de caminos, peatonales y calles que pueden conectar dos Áreas verdes como parques dentro de la urbe, (Alvarado, 2016) (Horte y Eisenman, 2020).

El diccionario de inglés de Oxford define a los corredores verdes como “un sendero o camino con césped; una pieza de terreno no desarrollado cerca de un área urbana reservado para un uso recreativo o conservación del medio ambiente” (Horte y Eisenman, 2020). Los precedentes de corredores verdes incluían árboles plantados en caminos y canales, que datan de hace 2000 años en China, corredores en jardines de la antigua Roma o los boulevard plantados en el siglo 18 en ciudades europeas (Horte y Eisenman, 2020). A diferencia de la precedencia de los corredores verdes dentro de la naturaleza, para el entorno urbano son una estrategia de planificación sustentable para contener o moldear la extensión urbana con el potencial de cumplir funciones recreativas y constituirse como elementos articuladores de las metrópolis (Horte y Eisenman, 2020)(Echávarri, 2009).

La tendencia de corredores verdes se ha venido desarrollando con fuerza desde mediados de la década de los 80s en Norteamérica y Europa, con numerosos proyectos. Mientras que a nivel de Latinoamérica el concepto “Corredor Verde” aparece en escena desde el año 2000 (Alvarado, 2016), que por la insuficiencia de estudios y/o recursos debido a los climas sociopolíticos y económicos de la región suelen dificultar la expansión de este concepto e implementaciones dentro de las grandes urbes.

Los árboles y plantas que son usados para los corredores verdes dentro de zonas urbanas a pesar de tener una densidad de reservas de carbono más pequeña que en bosques, tienen una potencial capacidad de almacenamiento considerablemente alta. Dado por el efecto de las islas de calor, la tasa de crecimiento de los árboles dentro de las

zonas urbanas y por el incremento de temperatura en estos entornos, se acelera (Matasov y col., 2020). También la temporada de crecimiento se extiende, junto a una deposición de Nitrógeno potencialmente alta con efectos mitigadores en picos de temperatura y proveyendo un microclima urbano más confortable (Matasov y col., 2020).

Los estudios realizados sobre los corredores verdes describen los factores e impacto rentable demostrando que las soluciones han resultado en un bajo costo económico (Hunter y col., 2022). En la ciudad de Belfast, Irlanda del Norte, se llevó a cabo la implementación de un corredor verde, dando como resultados el estudio de los efectos favorables en el ámbito de la salud. En un escenario hipotético se estima que el 2% de la población se vuelve activa al utilizar los corredores verdes en caminatas y recreación, entonces se disminuyen el riesgo de muerte en enfermedades como la diabetes tipo dos, enfermedades cardiovasculares, entre otras, (Hunter y col., 2022).

En las siguientes figuras (1.2) se muestran ejemplos de corredores verdes:



(a) Ejemplo de corredor verde urbano, FLorida Agricultural & Mechanical University. ²



(b) Corredor verde urbano en el sistema general del parque Río Hudson. ³

Figura 1.2: Ejemplos de Corredores Verdes en distintas ciudades

1.6.3. Smart Trees

Es un enfoque multidisciplinario que hace uso de arquitectura, verdeado y las tecnologías de la información para entornos inteligentes en campus. Son clave para evaluar la integración de estas soluciones que pueden extenderse a los entornos urbanos y se alinea con el objetivo trece de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, que busca reducir las emisiones de carbono. El objetivo quince que busca mejorar la vida en los ecosistemas a través de plantar árboles, y el objetivo tres de salud y bienestar para los transeúntes considerando que el ecosistema de interés es la urbe. Además, son

un componente dentro de los Ecosistemas Inteligentes que son parte de las Ciudades Inteligentes (Belmar Ocaña, 2014).

En Inglaterra el concepto se ha extendido hacia los bosques donde se busca reforestar tan rápido como lo fue deforestar buscando crear Bosques Inteligentes, en donde se usan drones, sensores e inteligencia artificial transformando los entornos forestales para gestionar sus contribuciones al mismo mediante recolección de datos y su análisis (Gabrys, 2020).

Los árboles dentro de la infraestructura verde juegan un papel esencial en el funcionamiento sustentable de ecosistemas urbanos proveen regulaciones como el secuestro de carbono, formación de microclimas, polución y reducción de polvo en el aire atmosférico. Conociéndose como servicio ecosistémico, que junto con el crecimiento acelerado en el campo de las tecnologías de la información y comunicación (TICs) e Internet de las Cosas proveen nuevas maneras de conectar la naturaleza hacia sistemas de monitoreo inteligentes (Matasov y col., 2020).

El uso de sensores en conjunto con la plantación de árboles nativos de la región y aplicaciones como IoT, computación en la nube permite la escala de los árboles inteligentes en donde serán colocados; los sensores se encuentran a corta proximidad del árbol para registrar las variables de interés en cuanto al entorno y salud del árbol. El monitoreo del estado del árbol y las variables que lo rodean permite establecer las condiciones en que la vegetación se encuentra mejor y cómo impacta el entorno al que fue asignada. Permite mapear cambios en la estructura y composición de la vegetación, gestionar la regeneración forestal con cultivo de precisión, ejecutar y regular sistemas invernaderos a distancia con redes de sensores inalámbricas, y el monitoreo de la polución urbana por ruido con sensores acústicos (Matasov y col., 2020).

1.6.4. Internet of Things (IoT)

Internet de las cosas o Internet de los objetos, es definido por el Internet Business Solutions Group (IBSG) de Cisco como “el punto en el tiempo en que se conectaron al internet más personas que cosas”, (Evans, 2011), refiriéndose a dispositivos que no son manejados todo el tiempo por un usuario final. También se lo puede ver como una arquitectura emergente basada en la Internet global que facilita el intercambio de bienes y servicios entre redes de cadena de suministro y que tiene un impacto importante en

la seguridad y privacidad de los actores involucrados, una extensión de comunicaciones tipo Máquina a Máquina (M2M) (Salazar y Silvestre, 2016).

El término fue usado por primera vez en 1999 por Kevin Ashton mientras formaba parte del grupo que se encontraba trabajando en el campo de RFID en red (identificación por radiofrecuencia) y tecnologías de sensores emergentes en el Instituto tecnológico de Massachusetts (MIT) hasta llegar al trabajo de Auto-ID Center, como precedente a IoT. Sin embargo, se estima que el Internet de las Cosas nació en algún punto entre 2008 y 2009 cuando se incrementó el número de dispositivos conectados por persona (Evans, 2011)(Salazar y Silvestre, 2016).

El paradigma IoT mediante la combinación de sensores con actuadores que son capaces de proporcionar y recibir información digitalizada para ser utilizada por una gran cantidad de diferentes servicios y usuarios finales (Salazar y Silvestre, 2016).

Una vez revisado estos conceptos, se puede observar que en Guayaquil el proceso de urbanización volvió primaria la extensión de la infraestructura gris con la adoquinación y proyectos que invitaban a una modernización visual de la ciudad; y a pesar de contar con áreas verdes para recreación y esparcimiento se ven limitadas por sus dimensiones y distancias entre ellas. Los corredores verdes permitirán conectar estas áreas expandiendo sus capacidades como infraestructura verde y servicios ecosistémicos para la ciudad en favor de mitigar la huella de calor que se genera e impacta a los ciudadanos en sus tareas cotidianas. Con la implementación del Smart Tree a través de los dispositivos IoT permitirá obtener información sobre el entorno en donde se despliega y expandir los servicios ecosistémicos.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

En este capítulo se explica la metodología a utilizar para dar forma a la solución con la que se plantea resolver la problemática. Se ha decidido usar el método de Design Thinking para abordar paso a paso la implementación del prototipo del Smart Tree. Esta metodología permite mejorar los resultados de cada etapa mediante retroalimentación por parte de las pruebas finales y los objetivos a alcanzar. De acuerdo a Design Thinking España ¹ las etapas que comprenden el Design Thinking son las siguientes: empatizar, definir, idear, prototipar y validar o testear. El diseño del smart tree contempla varias etapas, que se enuncian a continuación.

2.1. ¿Por qué es necesario un Smart Tree dentro de un corredor verde?

De acuerdo con la investigación realizada en el capítulo anterior, se considera la existencia de un microclima urbano el cual está directamente moldeado por la abundancia de la infraestructura de la ciudad. Su influencia sobre el estado de ánimo y salud de los ciudadanos que transitan la metrópoli. Además, del impacto que devuelve al medio ambiente con el uso adicional de energía permitiendo que las islas de calor perdure debido a este tipo de contaminación.

También el uso de infraestructura verde provee de servicios ecosistémicos, mitigación de calor a través de la captura activa de carbono en el proceso de fotosíntesis de las plantas y la proyección de sombra, desafortunadamente los parques o áreas verdes que proveen dichos servicios se encuentran separados siendo islas básicamente en la

¹<https://xn--designthinkingespaa-d4b.com/>

urbe. Los corredores verdes tienen como propósito extender los servicios ecosistémicos conectando los parques. El uso de árboles endémicos de Guayaquil promueve la presencia en espacios de esparcimiento, la vegetación autóctona y aprovechar recursos locales.

Al utilizar servicios de computación en la nube junto al paradigma de IoT, se obtienen soluciones que ofrecen acceso remoto a información y variables de diferentes entornos que son consideradas de manera global pero no monitoreadas constantemente en zonas específicas. La toma de decisiones con la información obtenida mejora aspectos de la ciudad como cuándo regar los árboles de los parques y corredores verdes, conocer el aumento del calor en las zonas circundantes a picos de tráfico, ubicar zonas con mejores temperaturas para los ciudadanos cuando ocurren olas de calor, detectar concentraciones nocivas de gases dañinos (CO₂, CO) para alertar a los transeúntes y choferes. El Smart Tree al medir las variables de temperatura, humedad y la calidad del aire de las calles se vuelve un agente dentro de los corredores verdes que al obtener dicha información indica la influencia que tiene el corredor dentro de esa área en comparación a las calles que carecen de vegetación.

2.2. Arquitectura

Un sistema IoT es referido a dispositivos físicos que captan y envían información por medio de una red inalámbrica sin la intervención de una persona ². El envío de datos puede ser en tiempo real o en períodos de tiempos largos. De acuerdo con los requerimientos del proyecto, la arquitectura mostrada en la siguiente figura (2.1) se utiliza en la implementación de la solución. Se explica cada bloque a continuación:

2.2.1. Actores del sistema

Los usuarios son las personas transeúntes que desean conocer sobre el estado del Smart Tree y las variables medidas en la ubicación que se encuentra. El Smart Tree cuenta con una pantalla en donde se mostrarán los datos captados. También los administradores del sistema para verificar el estado de las mediciones y el estado del Smart Tree por medio de la aplicación web y móvil.

²<https://www.redhat.com/en/topics/internet-of-things/what-is-iot>

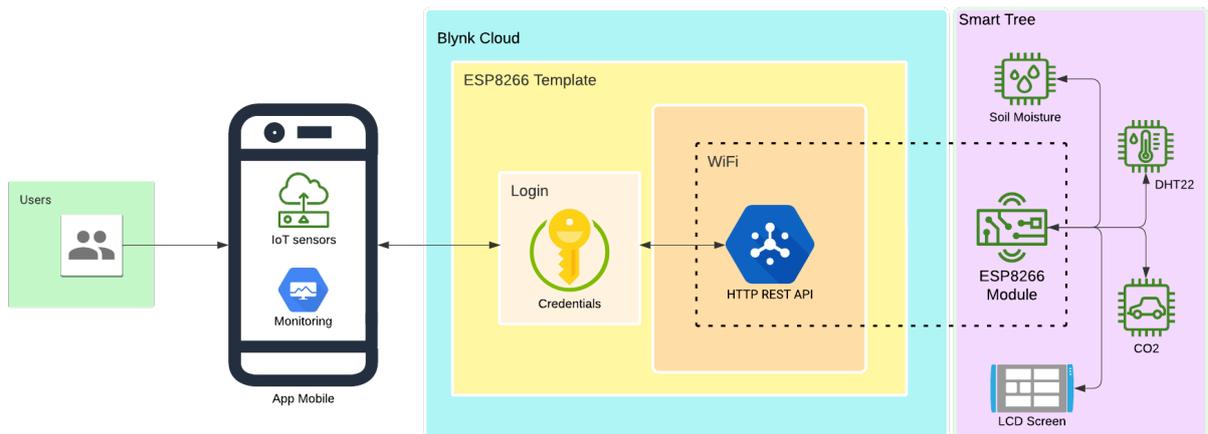


Figura 2.1: Arquitectura propuesta de la implementación del Smart Tree

2.2.2. Interfaz de usuario

Un aplicativo móvil es implementado para poder visualizar las métricas de los sensores y el estado del Smart Tree. Este aplicativo se conecta vía internet a la plataforma de Blynk para el llamado de los datos. Las mediciones de las variables se muestran como gráficas en la aplicación desplegada.

2.2.3. Servicio en la nube

El servicio en la nube utilizado ofrece una plataforma IoT basado en un HTTPs REST API para el prototipado, despliegue y manejo remoto de cualquier dispositivo conectado en cualquier parte del mundo. El software de Blynk permite crear una aplicación web o móvil tanto en sistemas Android como iOS. Los usuarios pueden conectar los dispositivos vinculados a la nube, visualizar la información en tiempo real o analizar los datos que se almacenan históricamente; también existen las opciones de controlar de forma remota y recibir notificaciones de los dispositivos.

2.2.4. Smart Tree

El Smart Tree es el vehículo orgánico que porta los sensores y controladores dentro del corredor verde, capaz de enviar la información censada hacia el usuario. Los sensores recolectan las medidas de las variables y son procesadas por el controlador. Las medidas y el estado del árbol se mostrarán en una pantalla. Los datos se muestran en pantalla y

se actualizan cada 30 minutos. El estado del árbol se muestra con una emogi de cara feliz y cara triste (Figura 2.2). Cuando el suelo del árbol se encuentre seco por falta de agua, se envía un mensaje en la aplicación móvil y web. Una vez se riegue el suelo del árbol se emite otro mensaje.

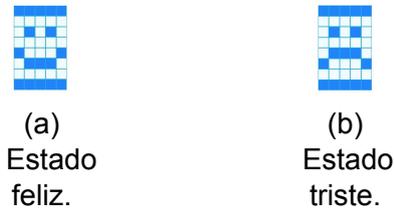


Figura 2.2: Símbolos para el estado del árbol

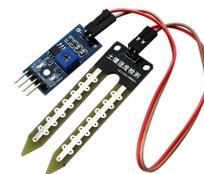
Materiales que conforman el Smart Tree: Según los parámetros a medir dentro de la ciudad, y considerando el objetivo de determinar los parámetros del Smart Tree para el cuidado de los árboles. Para lograr este objetivo se escogieron los parámetros de temperatura y humedad ambiente, y la humedad del suelo donde se encuentra el árbol. Se muestran los distintos dispositivos considerados para la implementación del Smart Tree. Los dispositivos han sido seleccionados de acuerdo con la economía actual y su accesibilidad en el mercado. El árbol seleccionado es endémico de la ciudad y acorde al clima de la zona.



(a) Sensor de temperatura y humedad



(b) Sensor de calidad del aire



(c) Sensor de humedad del suelo



(d) Pantalla LCD

Figura 2.3: Dispositivos para el censado y visualización de variables

Los dispositivos de censado y el controlador son programados utilizando el ambiente de desarrollo de Arduino para el levantamiento del sistema embebido. El sensor de

temperatura y humedad, Fig 2.3a, escogido es el DHT22 por su versatilidad, ya que cuenta con una librería para un manejo más sencillo en Arduino IDE, y proporciona la medición de las dos variables de forma simultánea.

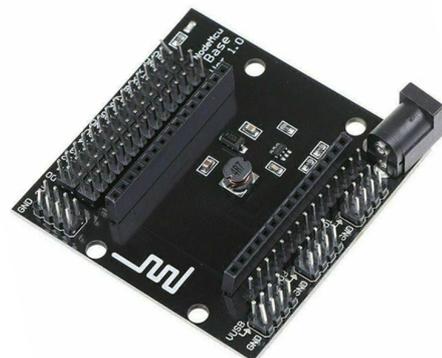
Para el sensor de gas se utiliza un sensor de calidad de aire MQ-135 Fig. 2.3b capaz de medir varios tipos de gases, entre ellos se encuentran: monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) y Amonio (NH₄). El modelo utilizado cuenta con un integrado que permite lecturas analógicas y digitales. La salida analógica convierte las medidas de voltaje en PPM (Partes Por Millón) de la combinación de los gases anteriores.

El sensor de humedad del suelo (Soil Moisture en inglés) escogido es el FC-28, Fig. 2.3c. Es un sensor tipo resistivo con un módulo integrado que permite lecturas tanto analógicas como digitales. Monitorear la humedad del suelo es importante para mantener la vitalidad del árbol. Se riega cuando sea necesario.

La pantalla LCD, Fig. 2.3d, es de 16x2, es decir, dieciséis columnas y dos filas para la escritura de caracteres. Cuenta con un módulo I2C que permite un manejo más sencillo al momento de controlar y solo requiere de dos pines del controlador. El integrado I2C utiliza el modelo de comunicación maestro/sirviente y solo utiliza dos pines en lugar de los dieciséis pines que tiene la pantalla LCD.



(a) Módulo con WiFi ESP8266



(b) NodeMCU V3 Sensor Shield

Figura 2.4: Controlador y base de pines

El ESP8266 es un módulo para conexión inalámbrica con excelentes características para trabajar en ambientes industriales y sistemas IoT. ESP8266, Fig. 2.4a, es robusto y compacto, ofrece modo de operación con bajo consumo energético, tiene un procesador integrado de 32 bits y un reloj interno de 160 MHz. Se encarga de recibir los datos

analógicos y digitales de los sensores.³ Junto con su base de pines 2.4b para extender el uso de sus entradas y salidas. El corredor verde necesita variedad de vegetación y árboles. Para la recopilación de información y medición de variables, el árbol escogido es el guayacán, Fig. 2.5b. El árbol que se encuentra en etapa de crecimiento lleva consigo los dispositivos para medir la temperatura y humedad mencionados anteriormente. La maceta, Fig. 2.5a, se utiliza como medio de transporte para el árbol y como plataforma para la ubicación de la pantalla, el sensor de gas y el controlador. La maceta se adapta para poder movilizar el árbol junto con el sistema IoT a través de las calles escogidas para el corredor. Y finalmente el panel solar, Fig. 2.5c, que se sitúa por sobre el árbol para aprovechar la energía del sol para recargar las baterías de ION Litio utilizando un cargador TP4056. Las baterías son de 8800 mAh a 3.7V.

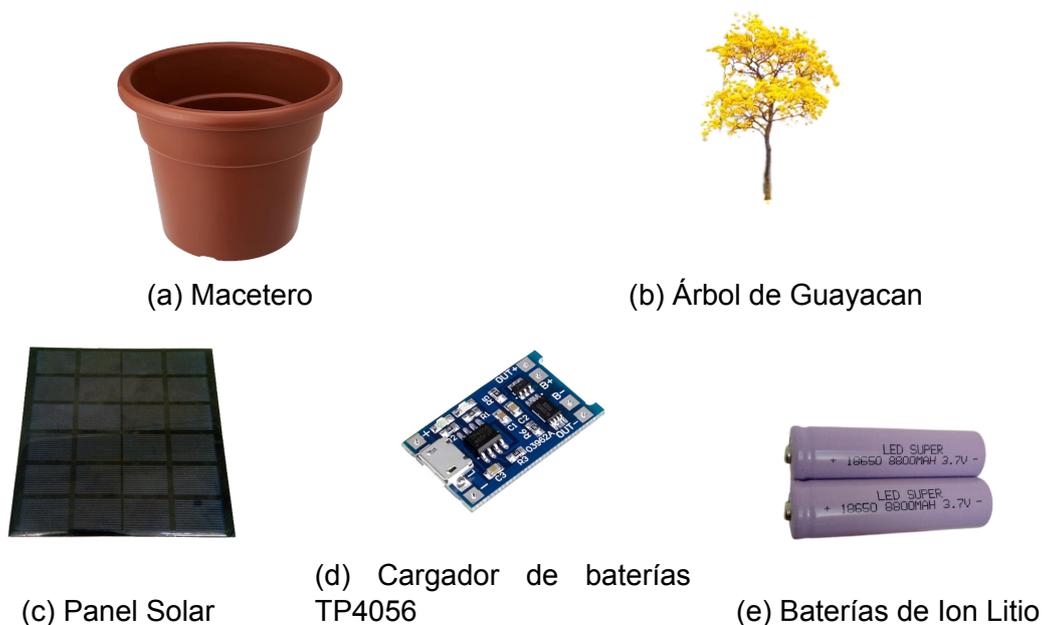


Figura 2.5: Árbol, macetero y alimentación del proyecto

2.3. Interacción del Sistema

La interacción del sistema se logra con la plataforma en la nube de Blynk. Al utilizar autenticación basada en *Token*, proporciona un código de acceso para la conexión del dispositivo controlador con la respectiva plantilla donde se crea la aplicación web. Blynk

³<https://www.espressif.com/en/products/socs/esp8266>

cloud cuenta con un aplicativo móvil en el que se pueden añadir formas de visualización y enlazarlas con las variables procesadas por el controlador al igual que en la aplicación web. En la programación del controlador se usan puertos virtuales de Blynk para enviar los datos a la nube.

La alimentación del sistema embebido se realiza con baterías de Li-Ion (Ion Litio) y un panel solar que recargará las baterías por medio del módulo TP4056. El controlador es programado para trabajar en modo de bajo consumo, al entrar en modo de sueño profundo y evitando gastar energía cuando las mediciones de las variables no son necesarias.

Se utiliza una conexión a una red WiFi local conectando el controlador para fines de pruebas del sistema embebido. Una vez conectados a internet, se monitorean los datos que son obtenidos por los sensores. Se calibran los sensores si es necesario al verificar las lecturas. En un escenario de pruebas se captan las variables ambientales de un espacio cerrado para verificación del correcto funcionamiento de los sensores. Luego de corregir errores de programación y calibración de los sensores, se monta el sistema en la maceta con el árbol. Al finalizar las pruebas se utiliza una red móvil por punto de anclaje WiFi que permite la conexión inalámbrica del controlador a internet cuando el Smart Tree se encuentra en las calles proyectadas para el corredor.

2.4. Criterios de Inclusión y Exclusión

Dentro de los criterios que engloban el alcance del proyecto se empieza por la locación del corredor verde que será dentro de la ciudad de Guayaquil, comprendiendo las calles Avenida Pedro Moncayo, Dr. Victor Manuel Rendon y Coronel Lorenzo de Caraycoa que unen al parque La Victoria, parque Centenario y parque de La Madre; debido a que las calles que conectan con otros parques son más angostas y la inclusión de plantas, dado el movimiento en la ciudad, complicarían la circulación de transeúntes y vehículos. Limitado por presupuesto y gestiones con el municipio de la ciudad, se utiliza un árbol endémico de Guayaquil, el Guayacan, que es el vehículo transportador de los sensores y controlador para formar el prototipo, recopilando la información necesaria para determinar la cantidad de árboles a implementar en las calles descritas.

Aportando con el uso de energías renovables, el sistema embebido del Smart Tree utiliza un panel solar para almacenar energía y prolongar su funcionamiento autónomo. El

dispositivo controlador puede trabajar en modo de bajo consumo. Se espera una duración aproximada de un año en funcionamiento autónomo.

Debido al factor de tiempo para realizar el proyecto, las aplicaciones web y móvil no fueron desarrolladas. La plataforma de Blynk cloud al utilizarla de forma gratuita tiene varias limitaciones. Blynk permite utilizar determinados tipos de formas (widget en inglés) para la visualización de las variables, es requerido pagar una suscripción si se requiere una widget más especializada. Blynk también limita la cantidad de usuarios: solo un usuario puede ser administrador y el resto usuarios que pueden visualizar sin poder modificar. En total se pueden utilizar cinco usuarios y dos dispositivos conectados.

El usuario final son los ciudadanos que circulan dentro de la urbe y pueden ver el estado a través de la pantalla LCD, pero son los administradores los que tienen acceso al monitoreo y recopilación de la información desde el aplicativo web y móvil. Así también, el tiempo de operación del sistema en donde se recibirán y se visualizará información en la pantalla LCD debe coordinar con las "horas pico".

2.5. Métricas de evaluación

En cuanto a la aplicación web y móvil, se utilizará el software Apache JMeter para las pruebas de rendimiento. JMeter permite realizar pruebas de carga por solicitudes HTTP (Gaba, s.f.). Se puede comprobar la escalabilidad y estabilidad del servidor en la nube donde se aloja la aplicación. Blynk al estar basada en una REST API cuenta con microservicios que se comunican por códigos HTTP. Una métrica para la evaluación del sistema es la cantidad de solicitudes GET que soporta la plataforma de Blynk. Otras métricas para evaluar el sistema se describen a continuación:

- **Latencia:** Existe un intervalo de tiempo en que se mide en *ms* desde el encendido de los sensores para las lecturas, hasta el momento en el que se envía la información a la nube.
- **Tamaño de los datos:** Conocer la cantidad de datos enviados a la nube de Blynk por cada sensor en *bytes*.
- **Capacidad de carga:** Utilizando JMeter realizar pruebas de carga enviando grandes cantidades de solicitudes HTTP a la aplicación web, se mide en *peticiones*

por segundo.

- **Voltaje de entrada al sistema:** Verificar que el Smart Tree cuenta con el voltaje requerido para su funcionamiento. El voltaje para el funcionamiento del controlador según sus especificaciones debe ser de 5V y las baterías utilizadas aportan 3.7V, por lo que, se requiere elevar el voltaje.

Métricas de satisfacción de Usuario: Se encuesta transeúntes mostrando la premisa del Smart Tree para conocer su opinión y su grado de satisfacción. En la sección de resultados se muestran las puntuaciones y gráficas de los grados de satisfacción de los transeúntes. La encuesta cuenta con cinco preguntas sobre su opinión acerca del proyecto que observan en las calles. Las preguntas de la encuesta fueron:

1. Luego de leer la premisa del proyecto, ¿Cómo considera al proyecto? Con opciones: Me agrada, Me es indiferente, Me desagrada
2. Suponiendo que la implementación del corredor verde reduzca el tamaño de las calles en donde se piensa implementar, en pro de reducir la huella de calor, usted estaría:. Con opciones: A favor, En contra
3. Cuando ha estado en el centro de la ciudad en un día soleado, ¿ha experimentado pesadez, mareo, sofocación o dolores de cabeza por la intensidad del calor? Con opciones: Si, No me he percatado, No.
4. En días soleados en el centro de la ciudad, ¿qué considera como un lugar fresco? Con opciones: Parques, Sombras de edificios, Centros comerciales o tiendas.
5. Basado en la premisa del proyecto, ¿considera usted que con infraestructura verde se puede reducir la presencia de gases nocivos para la salud como el dióxido de carbono expulsados por los vehículos y buses en la ciudad? Con opciones: Si, No.

CAPÍTULO 3

3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

En este capítulo se detallan los diseños e implementación realizadas que constituyen el desarrollo de la solución. Además, las pruebas del sistema que validan su correcto funcionamiento y las mediciones tomadas en las calles consideradas para la implementación de los corredores verdes.

3.1. Sistema Embebido

El sistema embebido se diseña a partir de los materiales escogidos en el capítulo anterior y es conformado por dos bloques: bloque controlador (BC) y bloque de sensores (BS), como se muestra en la figura 3.1. El bloque controlador se compone de Alimentación de Energía (AE), Procesamiento de Datos (PD), y visualización de datos (VD). El bloque de sensores se encarga de Recolección de Datos (RD) y Alerta de Riego (AR).

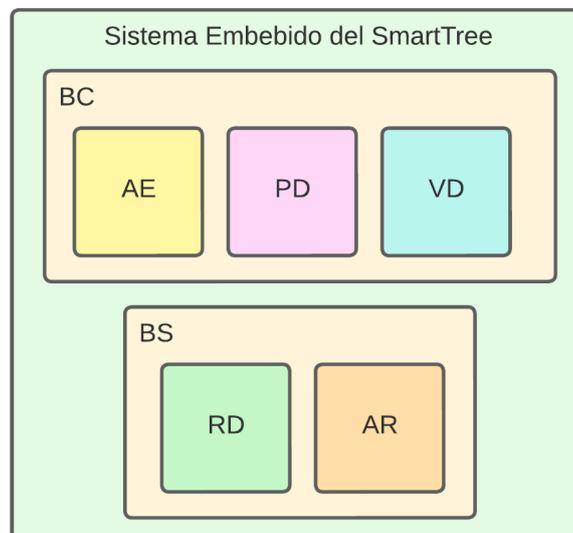


Figura 3.1: Diagrama de bloques del Sistema Embebido

El sistema embebido es complementado con la aplicación desplegada utilizando la nube de Blynk como se ha descrito en los capítulos anteriores. La aplicación de Blynk permite la visualización de los datos para el administrador del Smart Tree. El usuario final puede ver los datos en la pantalla LCD. El controlador se encarga tanto del procesamiento como el envío de los datos a la nube y así su posterior visualización. En la siguiente figura 3.2, se ilustra el flujo de trabajo que realiza el sistema donde RD corresponde a la Recolección de Datos, PD al procesamiento de Datos, el envío de Datos a la Nube y VD es la visualización de Datos.

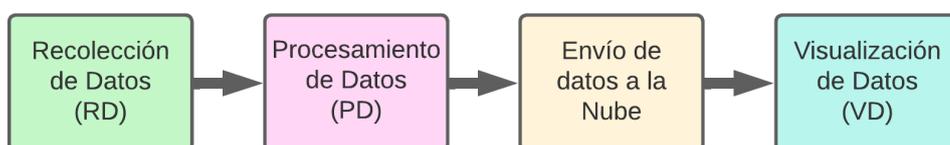


Figura 3.2: Flujo de trabajo del Smart Tree

Alimentación de Energía: El AE comprende los componentes y configuraciones necesarias para solventar las necesidades energéticas del sistema proporcionando autonomía junto con los ajustes para que repose y despierte.

Procesamiento de Datos: El PD abarca la programación requerida para luego de la obtención de datos en donde se los prepara y transforma, de ser necesario, para ser enviados a la nube a fin de ser registrados y visualizados.

Visualización de Datos: La VD contiene los medios en que los datos son presentados al público, estos comprenden el aplicativo, el panel de monitoreo web, así como el formato en los que serán observados en la pantalla escogida.

Recolección de Datos: En RD se miden las variables ambientales del entorno en que se encuentra el árbol. Utilizando los sensores descritos en el capítulo anterior, la temperatura es medida en grados celsius y con precisión de un decimal y la humedad se expresa en porcentaje.

Alerta de Riego: La AR toma en cuenta las lecturas obtenidas en la RD y el PD para determinar el momento en que el Smart Tree debe ser regado, asegurándonos de que no perezca y se mantenga sano en el entorno que monitorea.

3.2. Esquema de implementación del Smart Tree

En los siguientes esquemas se muestran los pasos para el desarrollo del sistema embebido y el prototipo que forma al Smart Tree. El primer paso es la programación del controlador y sensores. Una vez realizado el código, se prueba el funcionamiento de lectura de los sensores. Si funcionan correctamente, entonces se muestran en la pantalla LCD (VD). El sensor de humedad del suelo requiere de calibración por medio de un potenciómetro para ajustar el porcentaje de humedad que acepta como valor y pasar de un estado seco en el que el árbol requiere riego, a detectar humedad donde ya no es necesario el riego. Si un sensor no funciona adecuadamente, es decir, no muestra valores correctos, entonces se revisa el código y el estado de los sensores. Luego de comprobar que todos los sensores y códigos funcionan, se envían los datos a la interfaz de usuario para mostrarlos en las gráficas correspondientes (VD). El esquema detallado se muestra en la figura 3.3.

En la plataforma de Blynk se encuentra creada la plantilla en la que se agregan los parámetros requeridos para la conexión con el controlador: tipo de dispositivo y tipo de conexión a internet. En este caso, el tipo de dispositivo conectado es el ESP8266 y se conecta vía WiFi. Luego se agregan el tipo de forma para mostrar los datos de las variables y los puertos virtuales por los que se recolectan los datos censados dentro de la aplicación web.

En el código del controlador, adjunto en la sección de anexos, se encuentran los comandos para procesar los datos y enviar la información a los puertos virtuales (PD), tabla 3.1. Se utiliza tipo entero en la interfaz porque no es necesaria precisión decimal en la visualización. Los puertos virtuales de las variables utilizados se muestran en la siguiente tabla:

Los puertos virtuales pueden ser modificados en la plataforma de Blynk. Es necesario revisarlos si existe algún error en la visualización de datos. Finalmente, una vez enlazada la interfaz con el controlador, los datos de las mediciones se muestran en las formas escogidas al crear la plantilla y se almacenan en la nube. Se utilizan gráficas indicadoras para los datos de temperatura, humedad y calidad del aire, cada gráfica cuenta con su cantidad máxima de medición de la variable y la dimensión. A continuación se muestran las figuras utilizadas en la plantilla de la interfaz.

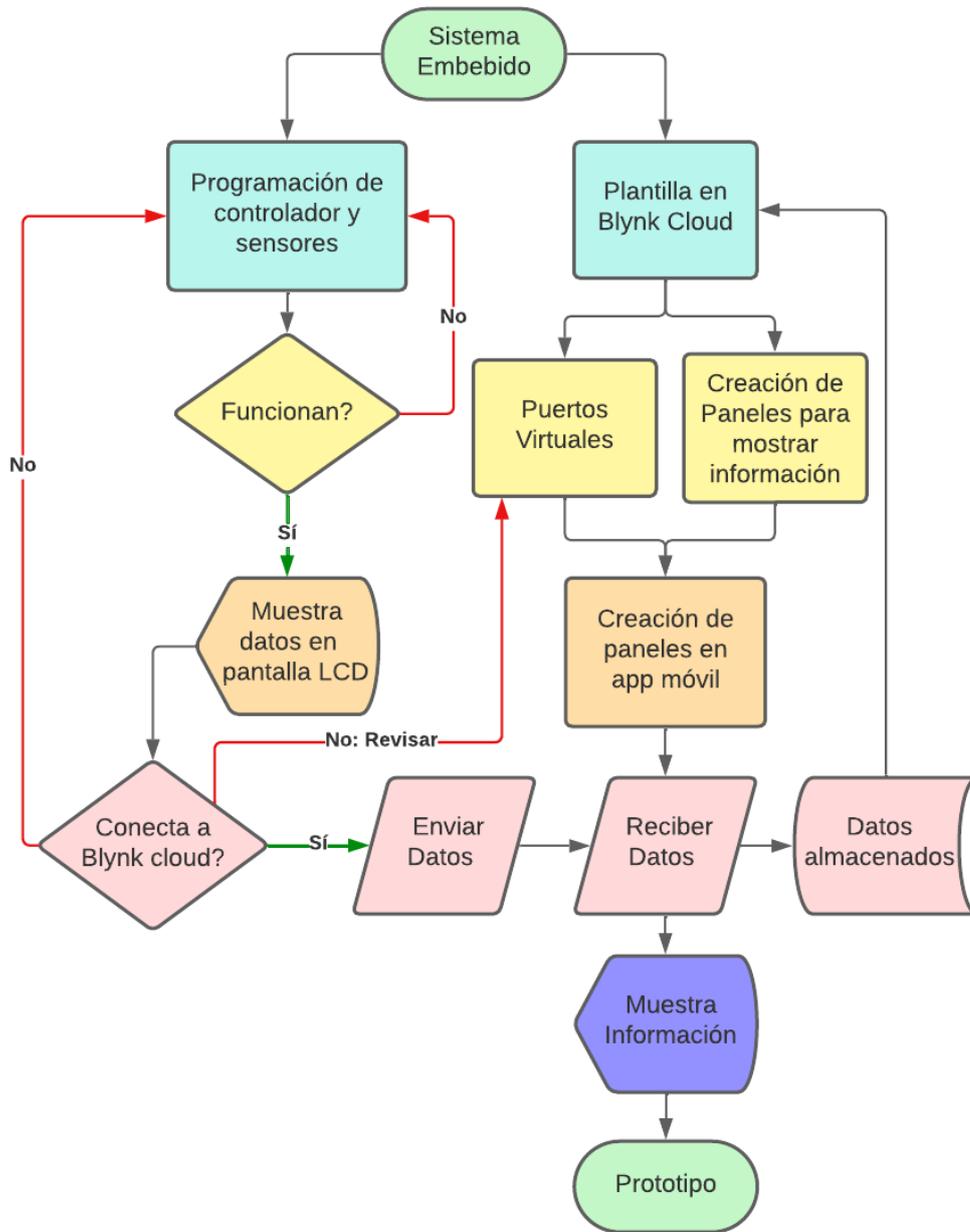


Figura 3.3: Esquema de implementación del sistema embebido

Tabla 3.1: Tabla de variables y puertos virtuales de conexión con interfaz de usuario

Variable	Puerto Virtual	Tipo de Dato
Temperatura	V0	Entero
Humedad	V1	Entero
Calidad del aire	V2	Entero
Humedad del suelo	V3	Booleano
Mensaje	V5	Cadena de Caracteres



Figura 3.4: Gráficas de las variables en la interfaz de usuario

En la figura 3.4 se observan los últimos datos captados en pruebas del funcionamiento de la conexión a la nube. En la figura 3.5 se muestra una representación de las gráficas utilizadas para el almacenamiento de los datos. Los datos en las gráficas son escritos como puntos, cada punto puede ser observado al sombrear el área con el click izquierdo, para conocer a detalle el instante en el que se obtuvo dicho dato y su correspondiente medición.

Los datos se almacenan en la nube con una duración limitada a una semana y se muestran en gráficas de líneas para observar las variaciones de las medidas. Los datos almacenados observar en la plataforma de Blynk y en la aplicación móvil. Las limitaciones de Blynk en cuanto a los datos almacenados permite observar la información hasta una semana desde la última toma de los datos. A partir de un mes es necesario realizar una suscripción. Sin embargo, con los datos de una semana es suficiente para la observación de los datos.

En la figura 3.6 comprende en sí dos macetas, la primera y más grande es el vehículo en donde se encuentran las cajas que protegen a los dispositivos y cuenta con una base interna de varilla de hierro que ayuda a soportar a la segunda maceta que alberga la

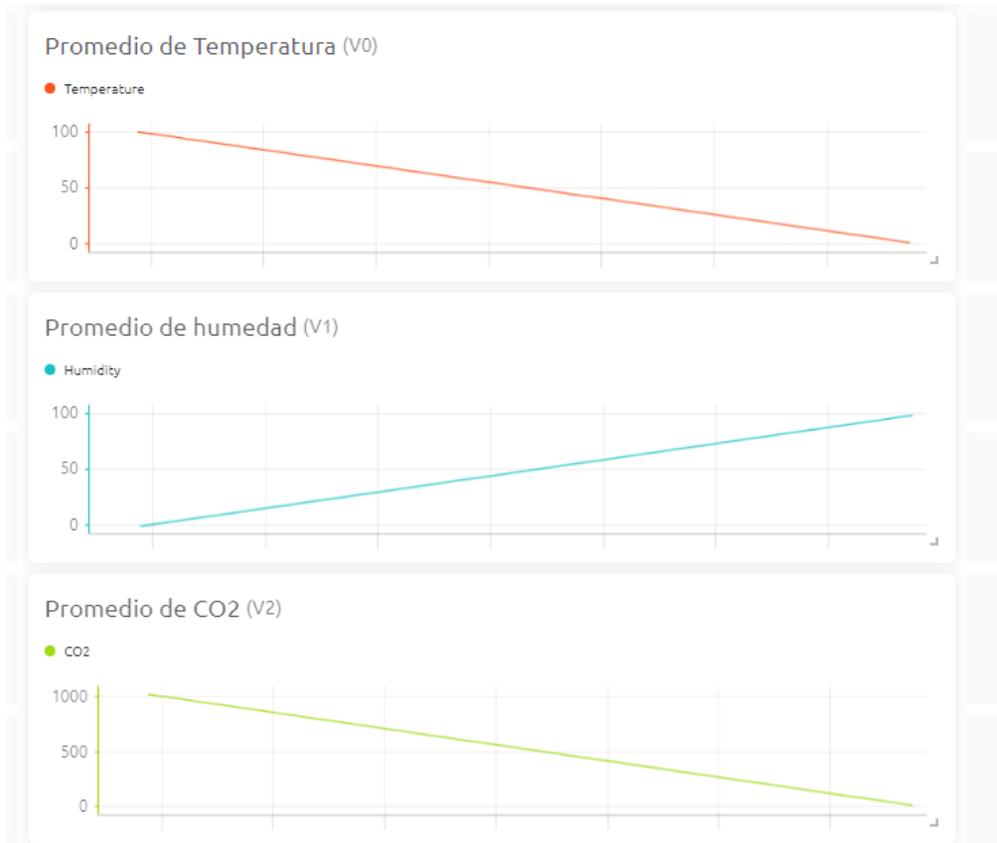


Figura 3.5: Gráficas lineales para mostrar datos almacenados en la nube de Blynk

planta que es en donde se ubican los sensores. Los sensores de temperatura y humedad del suelo junto al panel solar se encuentran en la planta, mientras que la pantalla LCD y el sensor de calidad de aire se encuentran en una caja impresa en 3D como medida de protección para preservarlos de las condiciones del entorno al que se exponen.

La alimentación está a cargo de un panel solar y de baterías para brindar buena autonomía al sistema. La seguridad de los dispositivos depende de las cajas. La caja que contiene las baterías y el controlador se encuentra atornillada en el interior de la maceta vehículo, mientras que la caja contenedora de la pantalla y el sensor de calidad del aire, se encuentra visible para los transeúntes y debe ser vigilada parcialmente. En caso de existir una falla en el funcionamiento del sistema embebido, es requerido revisar la ubicación de los dispositivos. Los dispositivos al ser manipulados mientras se ubican tanto en las cajas de protección como en el árbol pueden mover las conexiones del cableado al controlador y la alimentación. Finalmente, después de revisar el estado del cableado y las respectivas conexiones, el sistema embebido y el prototipo deben funcionar correctamente.

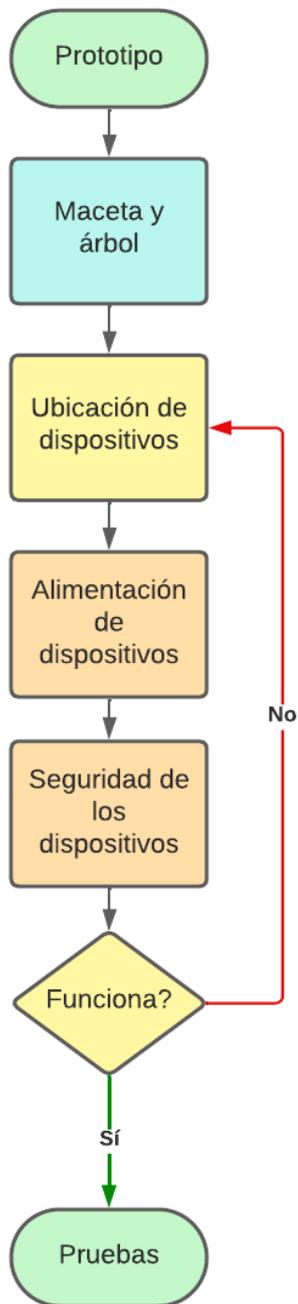


Figura 3.6: Esquema de implementación del prototipo

3.3. Diseño e Impresión 3D de la caja protectora del Sistema Embebido

El sistema embebido requiere de soportar las condiciones del entorno en el que se toman las medidas para el corredor verde. En la figura 3.10 se muestra el diseño de la caja protectora que cumple este requerimiento. En la parte frontal de la caja se tienen dos boquetes: el boquete rectangular se ubica la pantalla LCD y en el boquete circular se ubica el sensor de calidad del aire. También se guarda el integrado del sensor FC-28 en el interior de la caja. Existe suficiente espacio en la caja para evitar fallas por temperatura de los dispositivos protegidos. En la parte posterior se encuentran dos orificios que permiten la salida de los cables que conectan a la pantalla, el sensor MQ135 y el integrado del FC-28. Las medidas y el modelo 3D se muestran en las siguientes figuras.

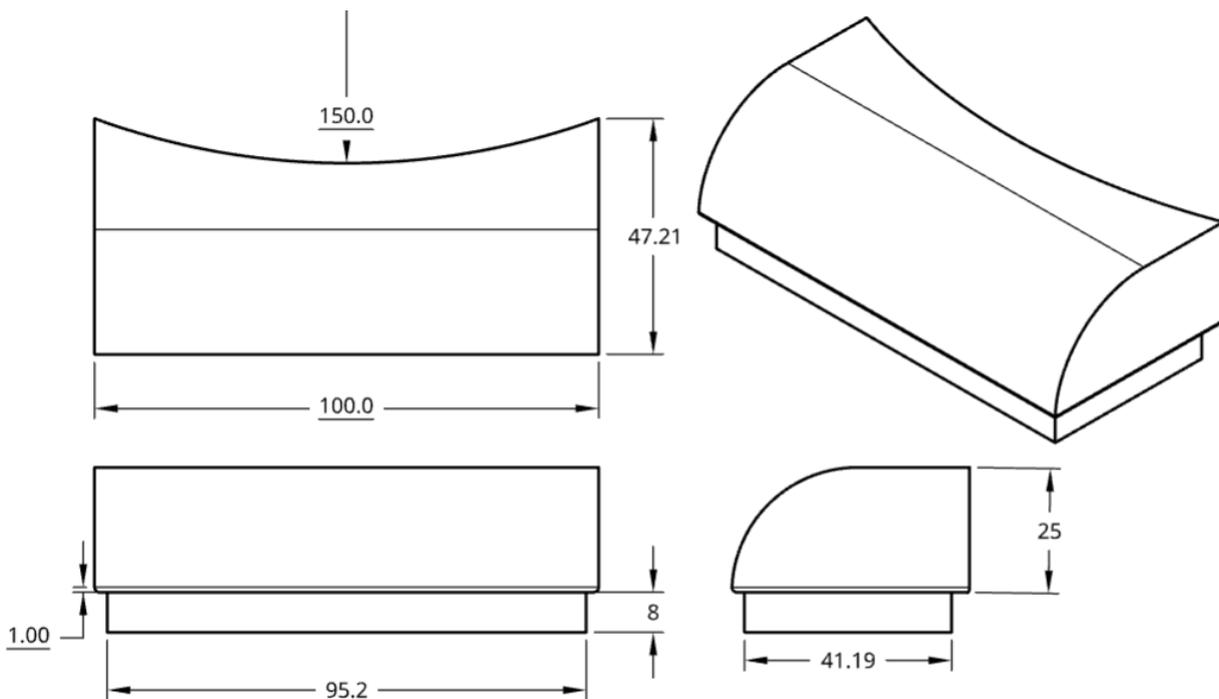


Figura 3.7: Medidas de la tapa (en milímetros).

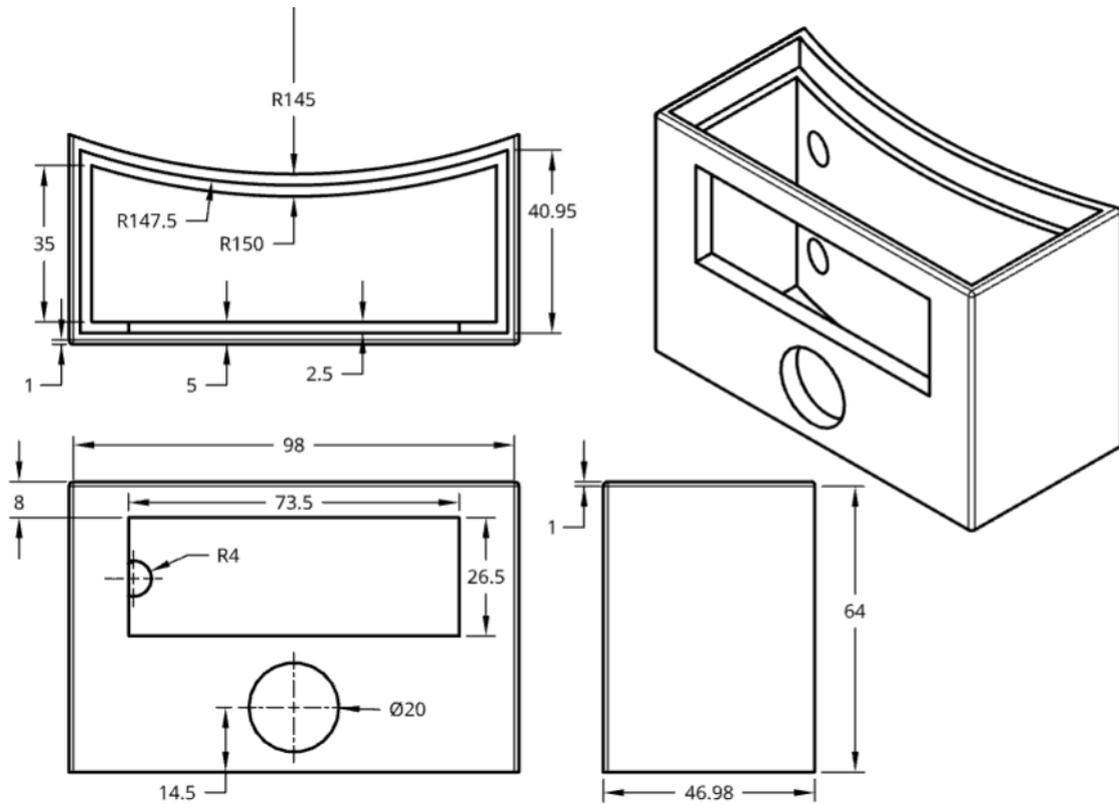
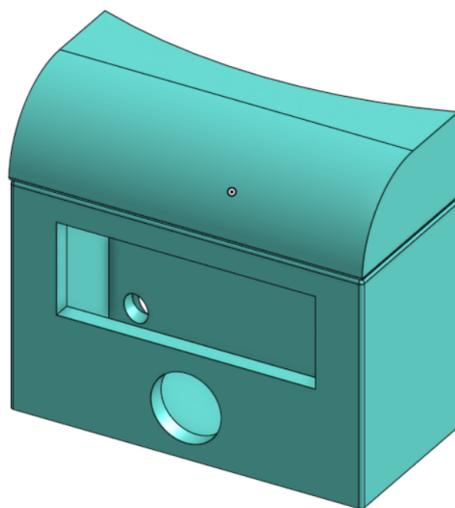


Figura 3.8: Medidas de la caja (en milímetros).



(a) Modelo 3D de la caja y tapa



(b) Impresión 3D de la caja y tapa

Figura 3.9: Caja de protección de la pantalla LCD y sensor MQ135

La segunda caja como se ve en la figura 3.10 se cierra con tornillos para seguridad de los componentes, conteniendo el sistema de alimentación (AE), las baterías junto con la base del controlador. Se hicieron perforaciones en la caja para conexión con el panel solar y los demás sensores. Esta caja es un modelo de caja de proyectos con medidas de 14 cm de largo por 8 cm de ancho y 5 cm de altura. Se asegura la protección de los componentes de factores como la lluvia, la radiación solar y el polvo de las calles, además de la humedad procedente del árbol luego de ser regado. Debido a que se encontrará bajo la maceta del árbol pero sobre la maceta vehículo, adherida a la estructura metálica que previene el acceso indebido.



Figura 3.10: Caja de protección de la alimentación y el controlador

3.4. Configuración y ensamblado del Sistema Embebido

La configuración del sistema embebido comprende los pines a los que se conectan cada sensor, pantalla y componentes de alimentación. El controlador ESP8266 cuenta salidas de voltaje de 3.3V y 5V. También cuenta con varias salidas a tierra para las distintas entradas que se pueden conectar pero con limitaciones en la cantidad de pines que se requieren para proveer la cantidad de 5V. Debido a la limitación de pines se utiliza la base del módulo que extiende la cantidad de pines para los componentes que requieren 5V y facilidad para la conexión de todos los componentes en los demás pines utilizados. Los detalles se muestran en la tabla 3.2 con referencia a los pines presentes en el ESP8266.

Tabla 3.2: Pines utilizados por los componentes hacia el controlador

Componente	Pin	Voltaje	Referencia
MQ135	A0	3.3	GND
Deep Sleep	D0	3.3	RST
LCD	D1 y D2	5	GND
DHT22	D6	3.3	GND
FC-28	D7	5	GND
TP4056	Vin	5	GND

En el siguiente esquemático representado en la figura 3.11 se muestran las conexiones detalladas en la tabla anterior y de acuerdo con los pines de los dispositivos. No se muestra la conexión del Deep Sleep porque es un puente entre el pin D1 y el pin RST. Tampoco se muestran las conexiones del panel solar y las baterías porque son conexiones sencillas y no se consideran relevantes para el desarrollo del proyecto.

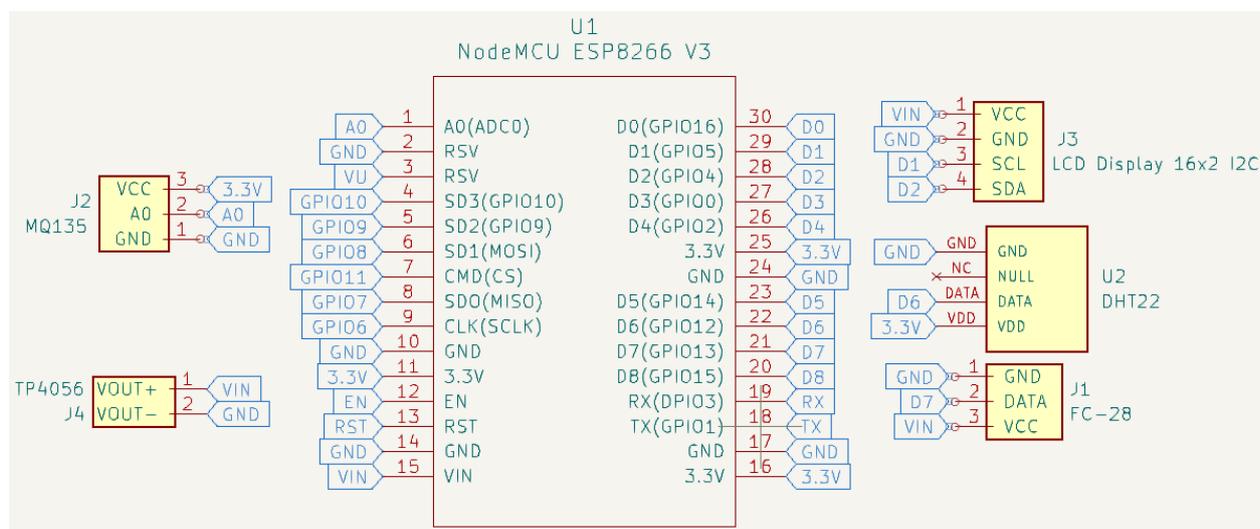


Figura 3.11: Esquemático del controlador y dispositivos conectados.

El panel solar se conecta a las entradas del TP4056. Las baterías se conectan a los puertos de carga, y la salida del módulo TP4056 se conecta al voltaje de entrada (Vin) de la base del ESP8266 proporcionando el voltaje total de 7.4V de las dos baterías. La base cuenta con un regulador de voltaje a 5V y 1A que son las especificadas para el correcto funcionamiento del módulo ESP8266. Adicional a la solución energética también se hace el uso del modo de operación Deep Sleep, permitiendo que se reduzca el uso de energía a 20µA con el objetivo de aumentar la longevidad del sistema. Con Deep Sleep

el sistema toma mediciones en dos minutos y se duerme 28 minutos para el ahorro de energía. El sistema cumple su función cada 30 minutos. La figura 3.12 muestra el prototipo ensamblado y listo para las mediciones, mientras que en la figura 3.13 podemos observar la distribución de los componentes.



Figura 3.12: Prototipo del Smart Tree ensamblado

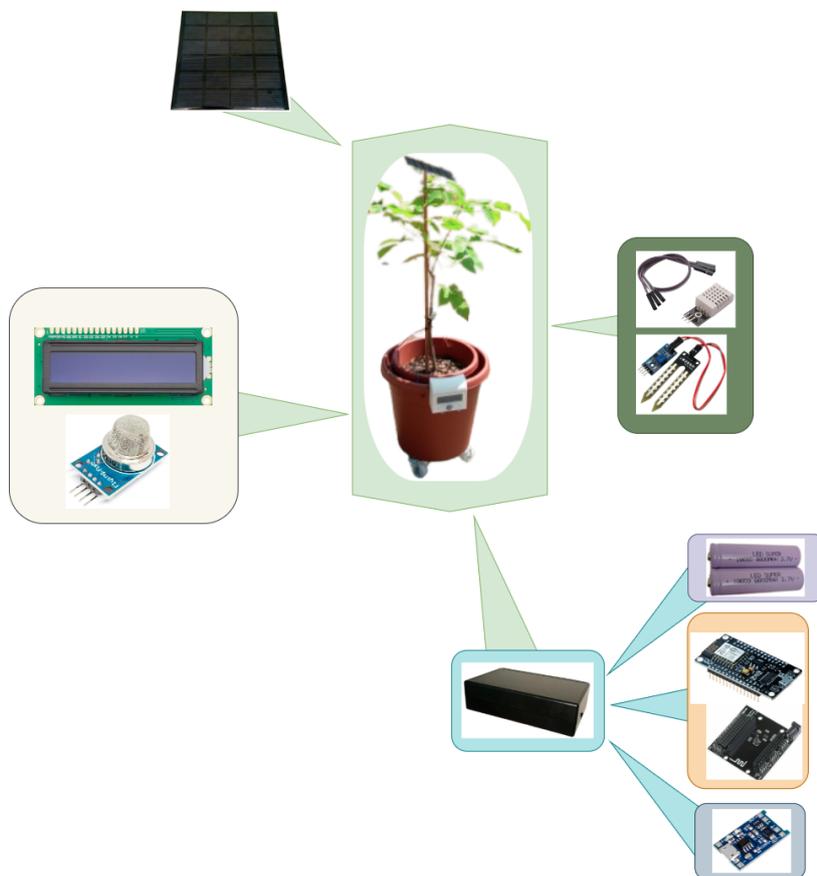


Figura 3.13: Partes del sistema en conjunto

3.5. Mediciones para el corredor verde

Las mediciones para el corredor abarcan las distancias entre los parques considerados y un estimado de cuántos árboles se requieren junto con arbustos que se incluirían en los espacios donde no estén los árboles para aprovechar el área a utilizar.

Las mediciones empiezan en el parque La Victoria, se toman medidas dentro del parque para tener referencia de la temperatura, humedad y calidad del aire con respecto a las calles. Tomando diez referencias por parque. Se continúa hacia el parque El Centenario comprendiendo una distancia de 270m.

En este primer tramo se toman medidas de las calles cada 10m, lo que permite tener 27 mediciones. Así mismo se toman medidas dentro del parque El Centenario para tener otra referencia de las variables ambientales y se continúa al siguiente parque. El segundo tramo tiene una distancia de 250m, con lo que se obtienen 25 mediciones más. Por último se toman referencias de las variables ambientales en el parque de las madres, es el tercer parque considerado donde terminaría el corredor verde.

El posicionamiento de los árboles es considerado en la referencia que se tiene de la distancia entre árboles que se ven dentro de los parques pero también haciendo uso de material como el Manual de plantación de Árboles en Áreas Urbanas de Santiago de Chile (Ojeda y col., 2014) donde se debe realizar una Planificación de Arborización en donde es necesario tener en cuenta las normativas vigentes además del espaciamiento, considerando que las calles del centro de la ciudad tienen cableado eléctrico por lo que se debe considerar la altura de los árboles en su etapa adulta, que no se encuentren en lugares que dificulten la visibilidad como cerca de semáforos, luminarias y señaléticas (Ojeda y col., 2014).

También se debe considerar la relación de la platabanda o maceta con el diámetro de la altura del cuello (DAC), ya que cuando el árbol alcance su porte adulto haya suficiente espacio para el engrosamiento de su tronco (Ojeda y col., 2014), y la distancia de la plantación, es decir, el espacio entre árboles considerando la copa; importante reconocer que esta información varía dependiendo de la especie del árbol, para el caso escogido en el prototipo que es un Guayacán puede alcanzar una altura de entre 8 a 15 m¹ con un tronco (cuello) de hasta 20 cm de diámetro² entra en la categoría de árboles medianos

¹<https://www.lifeder.com/guayacan/>

²https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718221X2007000100006

(Ojeda y col., 2014) por lo que una distancia de 6 a 8 metros es lo más acertado.

CAPÍTULO 4

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

El análisis de resultados muestra la información obtenida en las pruebas del sistema embebido, el resultado de la encuesta de satisfacción de los usuarios y las mediciones de las variables ambientales dentro del recorrido considerado para el corredor verde. De acuerdo con las métricas establecidas en el capítulo dos se concluye sobre el funcionamiento del sistema y un aproximado de árboles necesarios para una disminución significativa de la huella de calor en el área estudiada.

4.1. Resultados de pruebas del Sistema Embebido

Las pruebas mostradas a continuación detallan las capacidades del sistema embebido. En cuanto a la latencia y tamaño de datos se realizaron de dos maneras: la primera es por medio del código en el controlador cuando se realiza el procesamiento de datos y la segunda forma es utilizando el software JMeter llamando a los datos desde la interfaz de usuario. Las pruebas de capacidad de carga están realizadas directamente con la interfaz de usuario.

4.1.1. Pruebas de latencia

La latencia es medida desde el momento en el que se captan los datos hasta el instante en el que se envían a la nube. Los resultados de la prueba se muestran desde el monitor serial del IDE de Arduino. En la figura 4.1a se observa el momento en que se inician los sensores y la conexión con la nube, se tiene una latencia de 75ms. En la figura 4.1b se observa una disminución en la latencia en el que se capturan los datos y se conecta con la nube para su envío. Mientras aumenta el tiempo de funcionamiento del sistema, la


```

COM3

[350684] Connecting to blynk.cloud:80
Tamaño de Datos temperatura
4
Tamaño de Datos humedad
4
Tamaño de Datos MQ
4
Tamaño de Datos Suelo
4

```

Figura 4.2: Tamaño de los datos captados por los sensores

respuesta 200, indicando que se ha realizado con éxito la transacción de información y se verificó el tiempo en que tarda la interfaz en enviar los valores solicitados. A continuación se muestran las gráficas de las variables utilizadas en el proyecto y la cantidad de bytes que envía la interfaz en comparación a los bytes enviados por el controlador.

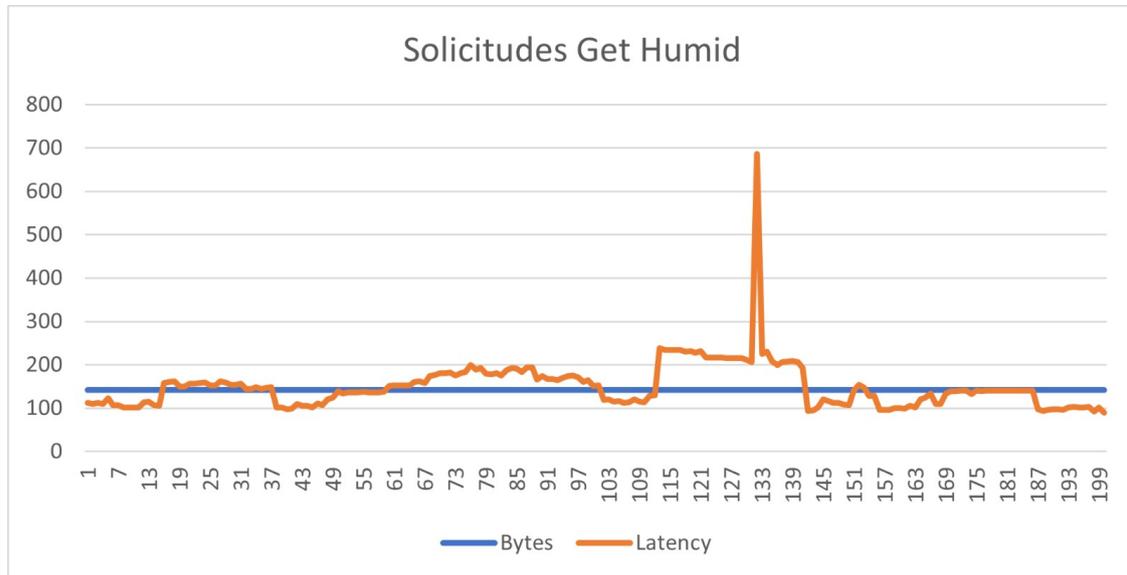


Figura 4.3: Prueba de carga para la variable de Humedad ambiente

En las figuras 4.3, 4.4, 4.5, y 4.6 se puede observar que existen algunos picos de latencia. Esto ocurre cuando el servidor se toma más tiempo en responder debido a la demanda de usuarios solicitando el mismo dato. La latencia muestra una tendencia en cada dato entre 100ms a 200ms, a excepción del dato de temperatura, figura 4.4 que varía entre 400ms y 600ms. Los bytes de las variables promedia entre 142 bytes a 170 bytes.

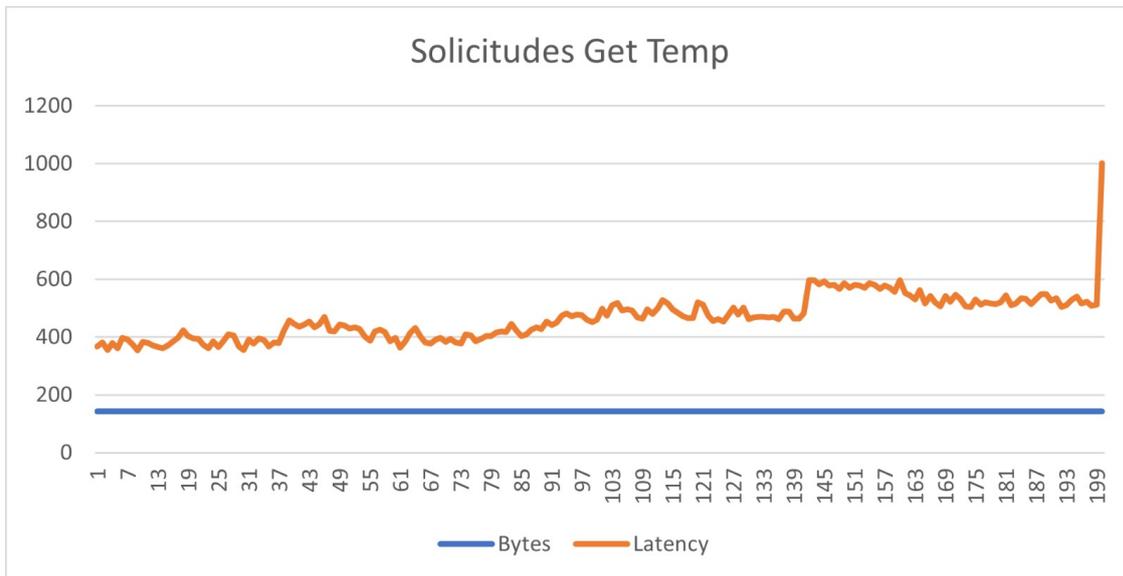


Figura 4.4: Prueba de carga para la variable de Temperatura ambiente

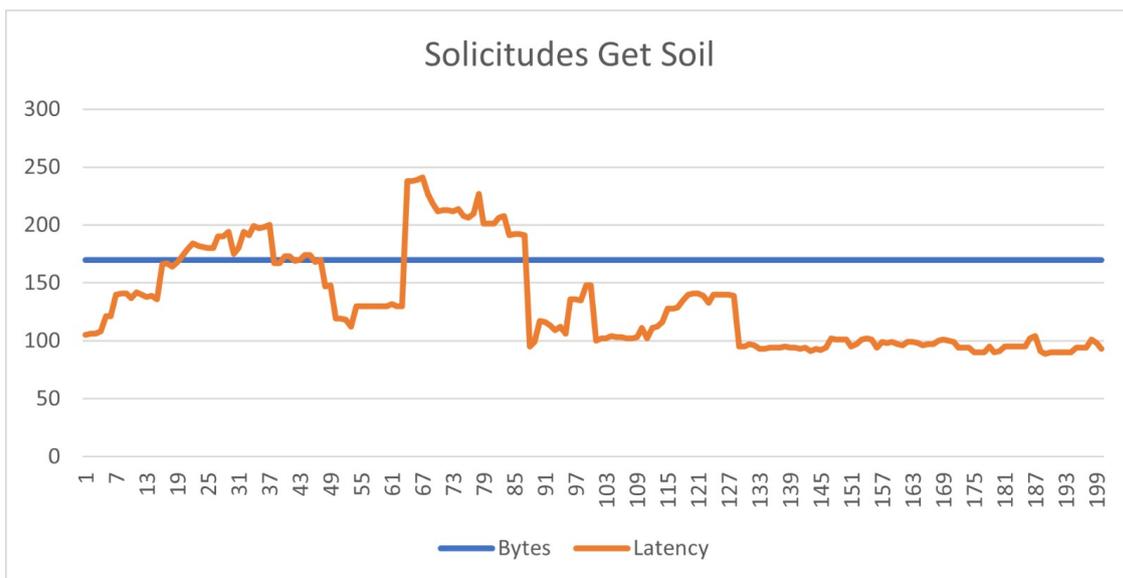


Figura 4.5: Prueba de carga para la variable de Humedad del suelo

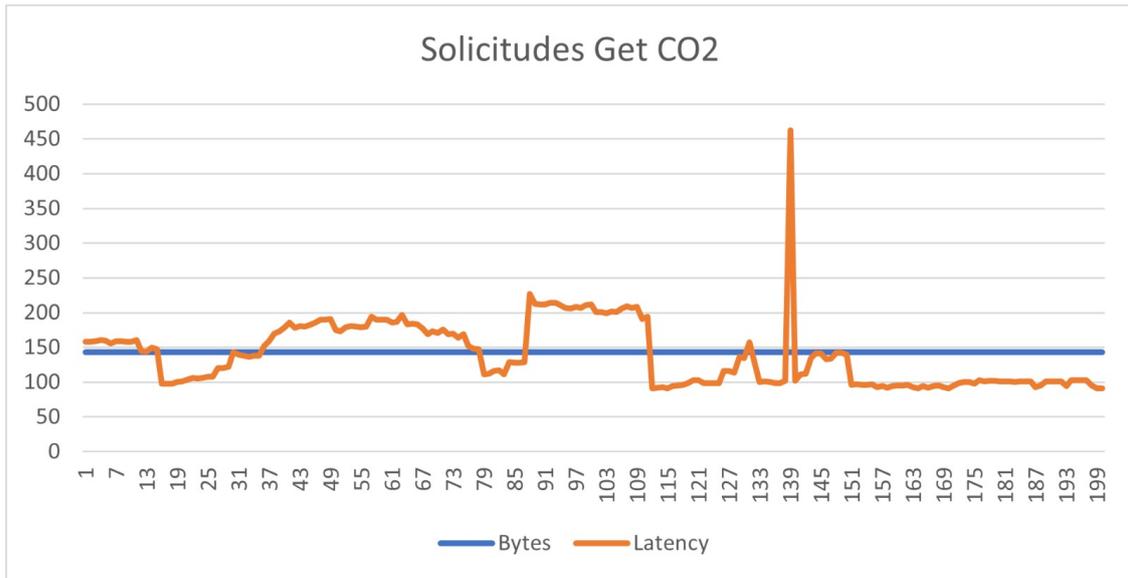


Figura 4.6: Prueba de carga para la variable de calidad del aire

Las pruebas realizadas son resumidas en la figura 4.7. Los promedios de cada variable muestran resultados satisfactorios para la interfaz de usuario. La respuesta de los servidores de Blynk es aceptable para una cantidad moderada de usuarios. El rendimiento de la interfaz de usuario promedia entre 115 a 148 solicitudes por segundo entregadas.

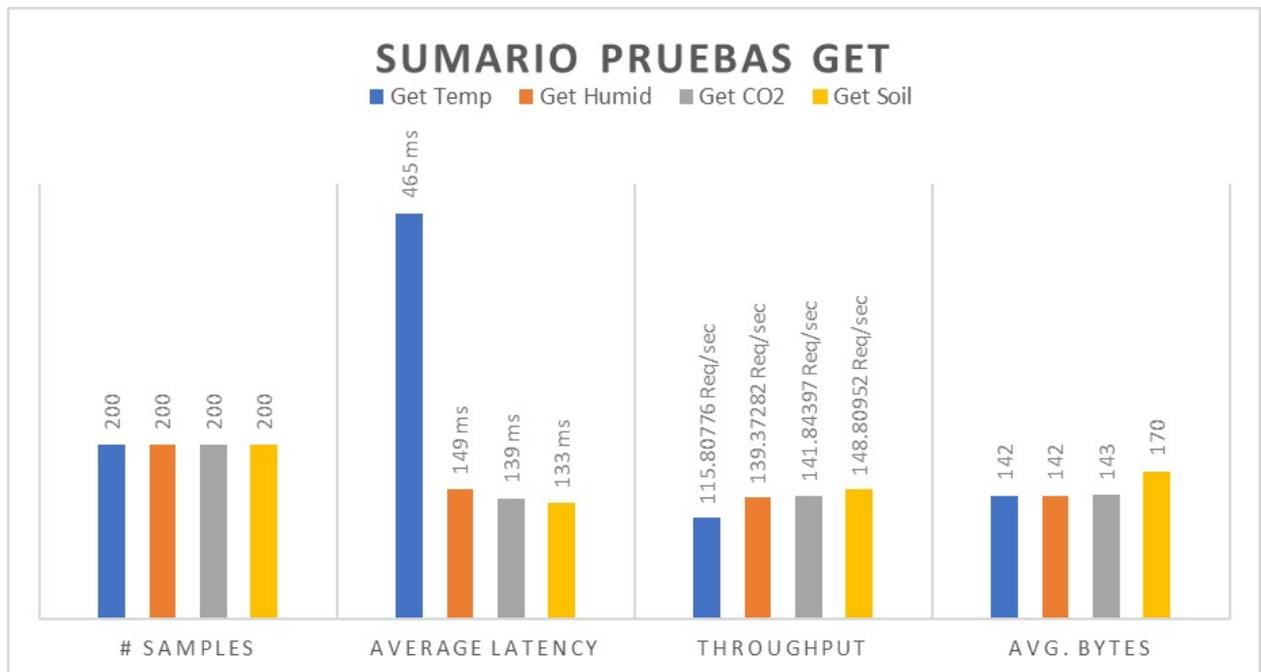


Figura 4.7: Sumario de pruebas de carga

La cantidad de pruebas realizadas por cada variable se consideran suficientes porque los usuarios que utilizan la interfaz gráfica son limitados. Se demuestra que la plataforma utilizada cumple con el requerimiento del sistema embebido. La diferencia entre los bytes de los dispositivos de censado y los bytes que se reciben desde la interfaz se debe al protocolo HTTP y los encabezados que utiliza la plataforma de Blynk. La diferencia en latencia de la variable de temperatura que tiene un mayor promedio comparado a las otras variables, como se observa en la figura 4.7. Aunque no se envían datos adicionales, se desconoce el comportamiento de la interfaz que provoca ese aumento en la latencia.

4.1.4. Pruebas de alimentación del sistema

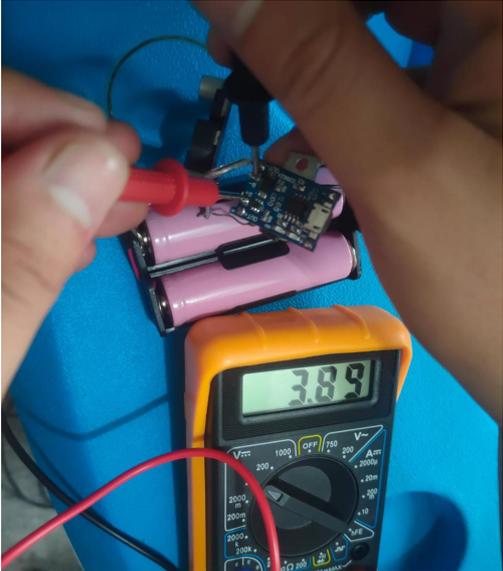
El voltaje de entrada requerido para el sistema se especificó en 5V. Se utilizaron dos baterías de Li-ION de 3.7V conectadas en paralelo para una mejor distribución de la corriente. Las baterías se conectan al módulo de carga para recibir corriente del panel solar cuando se descarguen y alimentar la carga del sistema cuando cuando no exista energía solar. Se utilizó un elevador de voltaje para proporcionar 5V a la entrada del sistema. A continuación se muestran las pruebas de voltajes realizadas a los componentes de alimentación del sistema.



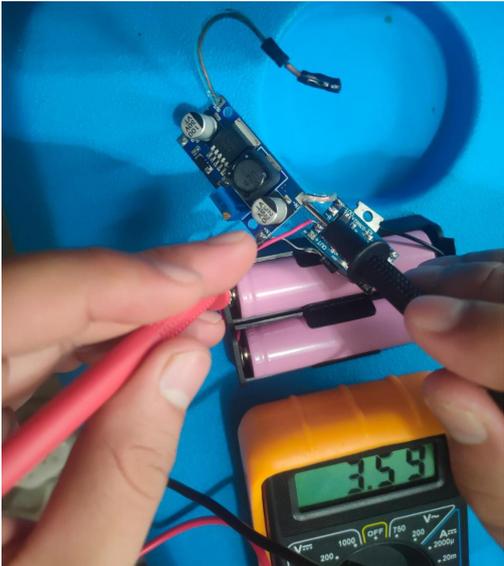
Figura 4.8: Voltaje de Panel Solar

En la figura 4.8 se muestra que el panel proporciona 6.68V suficientes para el correcto funcionamiento del controlador y los componentes. La base de pines (2.4b cuenta con un regulador de voltaje interno a 5V, por lo que, no es un problema con el voltaje del panel solar.

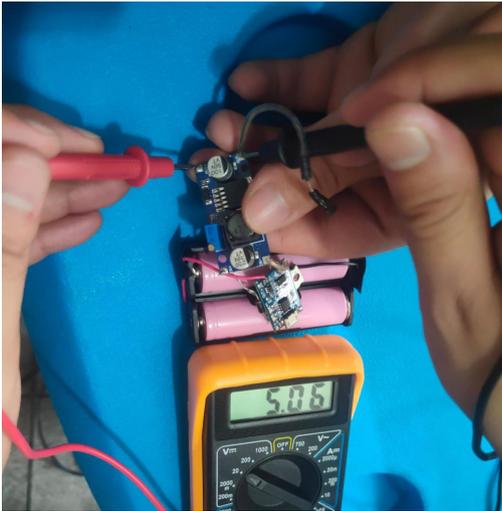
En la figura 4.9a se muestra el voltaje que tienen las baterías. En la figura 4.9b el voltaje que proporciona el módulo TP4056 de salida y que se conecta a la entrada del elevador de voltaje. Una vez elevado el voltaje 4.9c se verifica que el sistema cuenta con 5V, la energía necesaria para su correcto funcionamiento.



(a) Voltaje proporcionado por las baterías



(b) Voltaje en la salida del módulo TP4056



(c) Voltaje a la salida del elevador

Figura 4.9: Mediciones de voltaje de la alimentación del sistema

4.2. Resultados de Mediciones de las Variables Ambientales

Las mediciones fueron realizadas de acuerdo con la distancia de las calles entre los parques descritos. Entre los parques La Victoria y el parque Centenario se tomaron 21 puntos, y entre el parque Centenario y el parque de La Madre se tomaron 22 puntos, teniendo en totalidad 43 puntos de mediciones de variables ambientales y 14 puntos de referencia en los parques como se muestra en la siguiente figura 4.10.

En la figura 4.10 se observan dos tipos de puntos: R y M, corresponden respectivamente a Referencia y Medidas. Las R son los puntos tomados en el interior de los parques y las M son las medidas tomadas en las calles, permitiendo conocer la diferencia de temperatura entre los ambientes. A partir de estos puntos, se procedió a obtener los promedios de tres días de mediciones en distintas horas. Cada 30 minutos se tomaron las medidas desde las 10:00 de la mañana hasta las 12:00 del día 4 de agosto, luego el día 5 de agosto, y finalmente el día 7 de agosto. Los promedios de las variables ambientales se muestran en las figuras a continuación.

En la figura 4.11, se observa la temperatura y humedad promedio de los parques. La temperatura en el interior de los parques es de 28 grados centígrados con humedad promedio de 72%. En la figura 4.12, se observa el promedio de calidad del aire entre 315 ppm y 350 ppm. La temperatura en el interior de los parques es agradable. La humedad es normal de acuerdo con la vegetación presente. La calidad del aire se encuentra en medidas normales a bajas de acuerdo con la captación de carbono de los árboles y demás plantas presente en los parques.

En la figura 4.13 se muestran los promedios de las mediciones de temperatura y humedad de las calles como se explicó. La temperatura promedio es 32 grados centígrados y la humedad promedio es 45%. En las calles la temperatura ha aumentado cuatro grados centígrados y la humedad ha disminuido un 27% en promedio comparado con las mediciones de referencia de los parques. En las calles la temperatura y la sensación térmica del calor aumenta considerablemente.

En la figura 4.14 se muestra el promedio de la calidad del aire en las calles. La medida promedio es de 552 ppm, en comparación con las medidas de los parques es un aumento considerable. Los gases nocivos de los vehículos aumentan por la falta de vegetación.

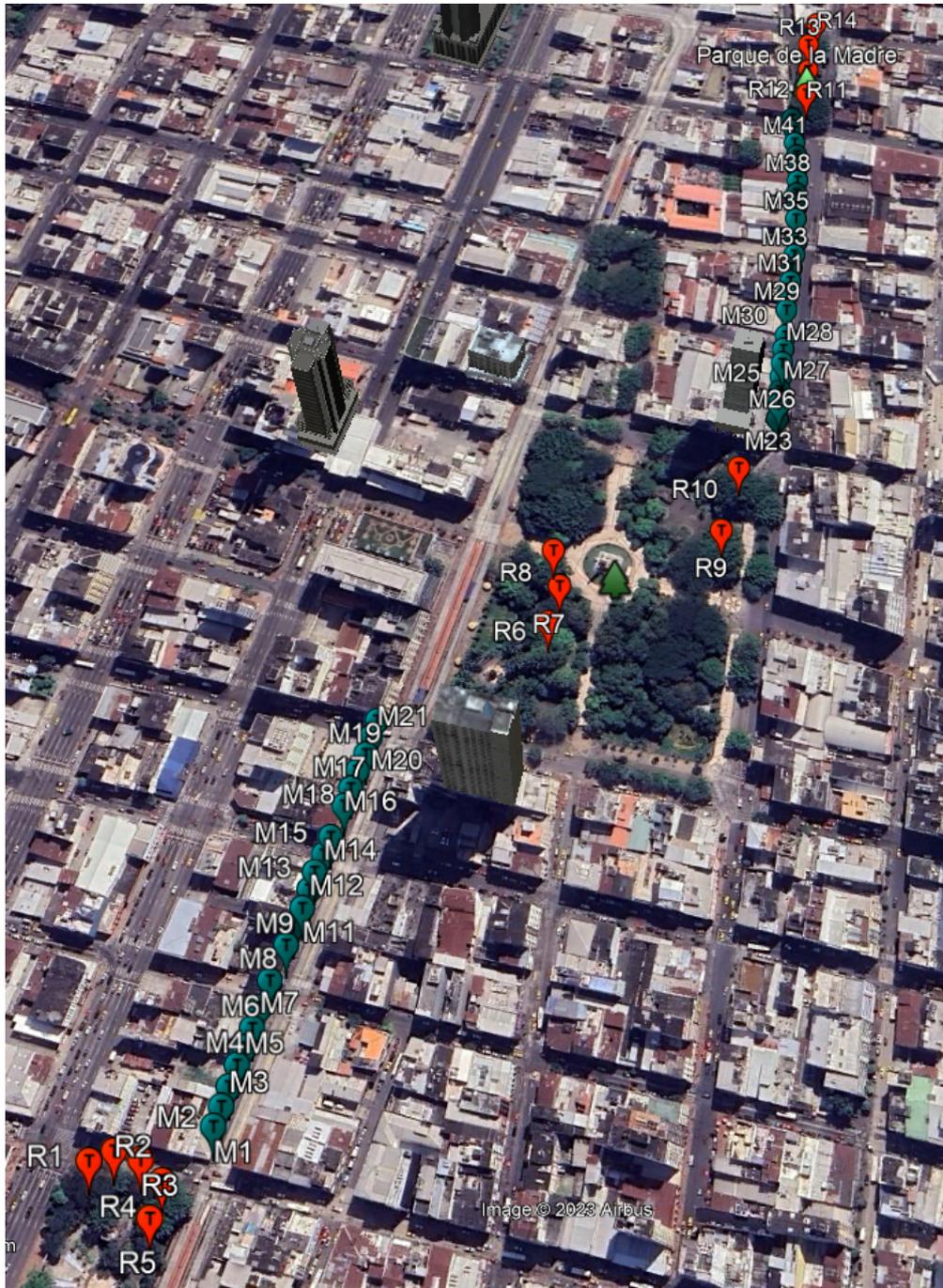


Figura 4.10: Puntos de mediciones en las calles previstas para el corredor verde

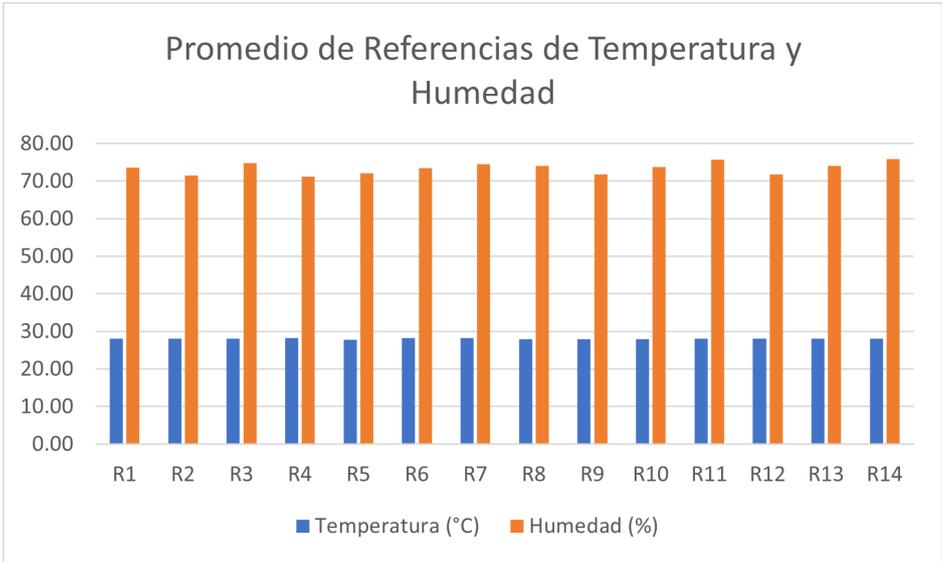


Figura 4.11: Promedios de puntos de referencia en los parques de las variables de temperatura y humedad.

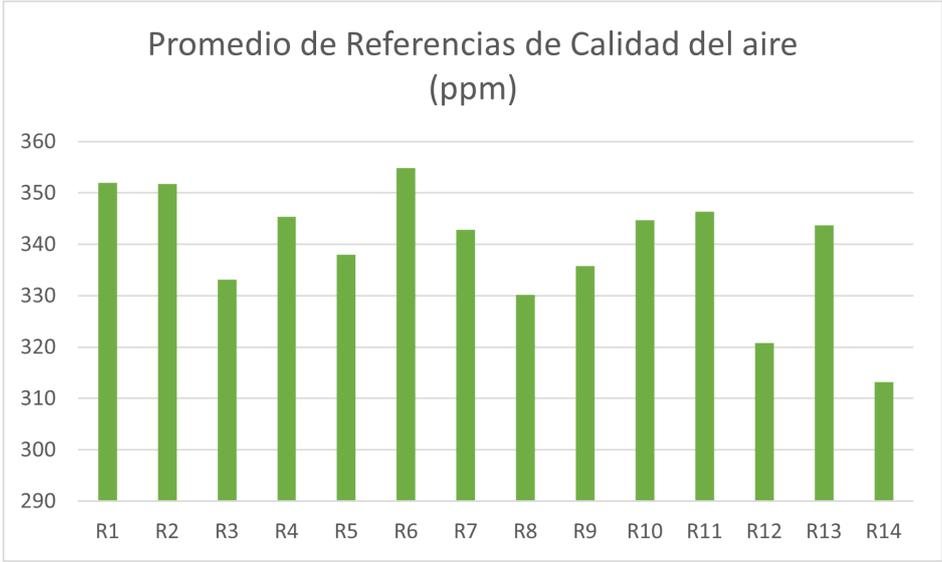


Figura 4.12: Promedios de puntos de referencia en los parques de la calidad de aire.

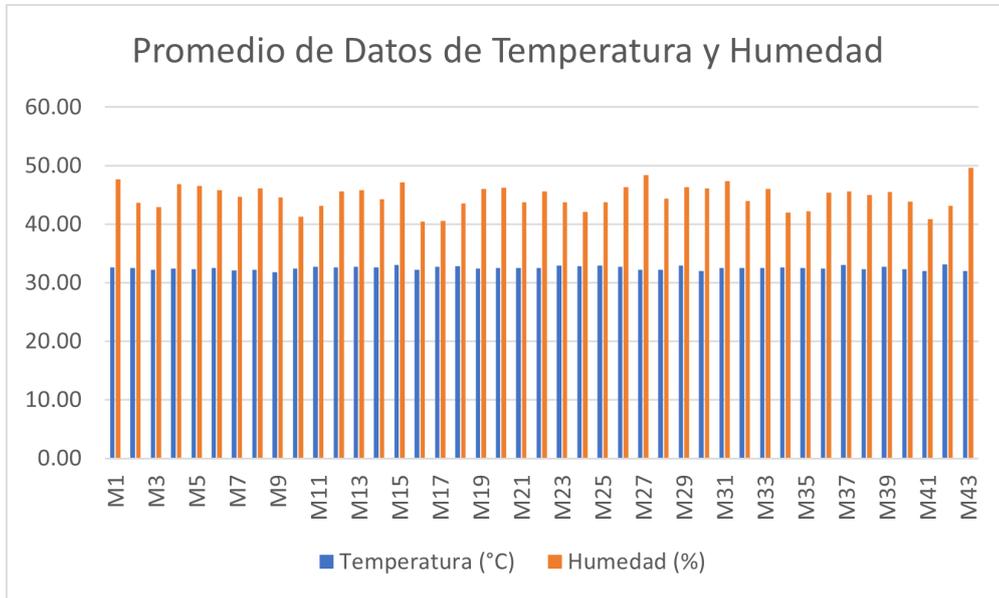


Figura 4.13: Promedios de puntos de las variables de temperatura y humedad en las calles

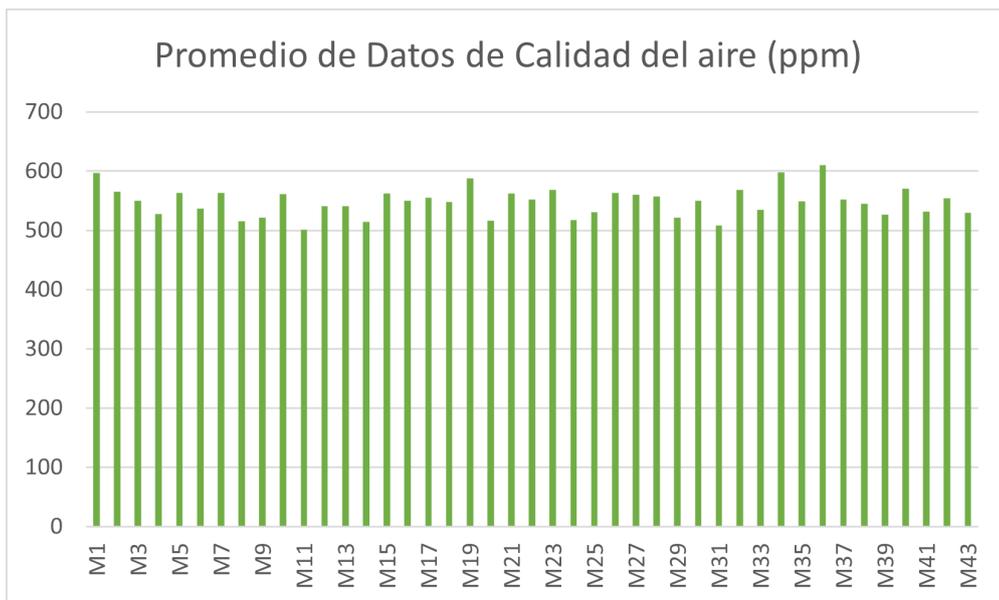


Figura 4.14: Promedios de puntos de la variable de calidad del aire en las calles

4.3. Análisis de recorrido para la distribución de árboles

Considerando los 270m del primer tramo a un espaciado de 7m considerando que cada árbol tendrá aproximadamente 20cm de cuello en etapa adulta se podrían plantar alrededor de 37 árboles, sin embargo, no se deben perder de vistas los postes de alumbrado público, señaléticas y semáforos, además del cableado eléctrico como se ve en Ojeda y col., 2014 pág.24; esto quiere decir que no se pueden usar 37 árboles sino 36 y empezar a 5m desde el inicio del recorrido para que así el primer árbol esté a 5m de un posible semáforo y el último también lo esté sin obstruirlos. Lo que también aplica al segundo recorrido de 250m donde el límite es de 35 árboles pero considerando el tramo anterior se debe delimitar a 34 árboles; recalcando que los cálculos fueron hechos usando al Guayacán como árbol escogido y las mediciones variarán según la especie, además se propone el uso de arbustos para los espacios entre los árboles para maximizar los servicios ecosistémicos. La siguiente ilustración aportará como apoyo visual para concretar la idea:

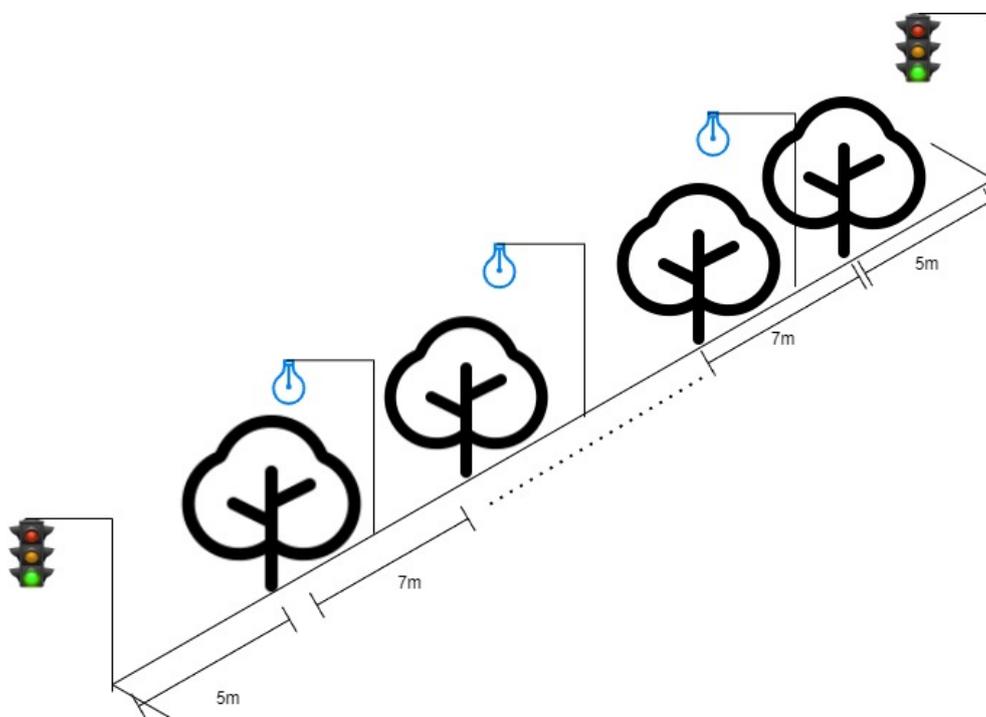


Figura 4.15: La distribución base de los árboles

4.4. Resultados de Satisfacción del Usuario

Los resultados de satisfacción del usuario se obtuvieron por medio de 80 respuestas a la encuesta en línea referente al proyecto. A continuación se muestran las preguntas con sus respectivos gráficos de respuesta y su análisis correspondiente al final de la encuesta.

En la pregunta 1 podemos ver la fig.4.16 la distribución de las respuestas, con una respuesta positiva del 96.3%, un 2.5% de rechazo e indiferencia del 1.2%. Por lo que es correcto asumir una aceptación a la premisa del proyecto y lo que busca resolver.

1. Luego de leer la premisa del proyecto, ¿Cómo considera al proyecto?

80 respuestas

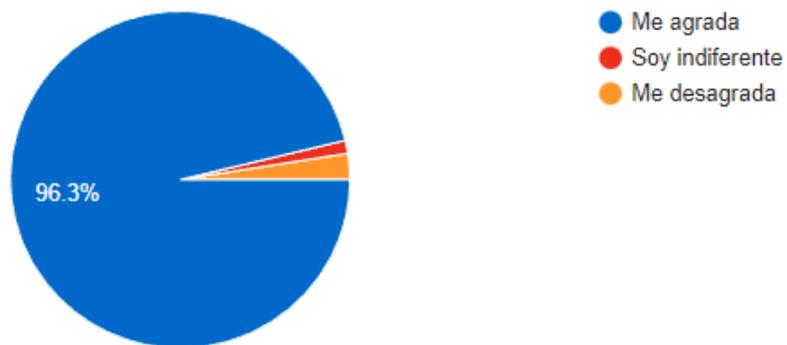


Figura 4.16: Resultados a la pregunta: Luego de leer la premisa del proyecto: ¿Cómo considera al proyecto?

La fig. 4.17 nos muestra los resultados de la segunda pregunta, con un 93.8% de aprobación y 6.2% en contra; indicándonos que existe una predisposición a ceder carriles en las calles para dar espacio a la plantación de árboles con el fin de mitigar la huella de calor.

2. Suponiendo que la implementación del corredor verde reduzca el tamaño de las calles en donde se piensa implementar, en pro de reducir la huella de calor, usted estaría:

80 respuestas

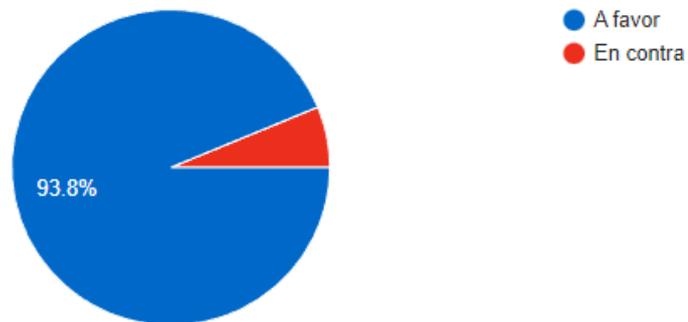


Figura 4.17: Resultados a la pregunta: Suponiendo que la implementación del corredor reduzca el tamaño de las calles, usted estaría...

Los resultados de la pregunta 3, como se ven en la fig. 4.18, en un 80% se han fijado en que el calor percibido en el centro de la ciudad los ha afectado, el 15% no se ha percatado, y el 5% conscientemente no se ha visto afectado por la intensidad.

3. Cuando ha estado en el centro de la ciudad en un día soleado, ¿ha experimentado pesadez, mareo, sofocación o dolores de cabeza por la intensidad del calor?

80 respuestas

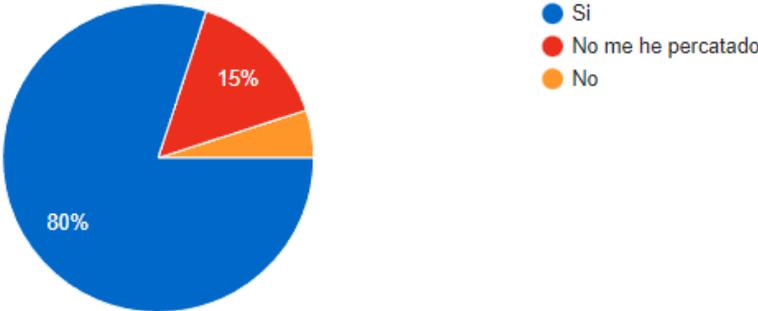


Figura 4.18: Resultados a la pregunta: Cuando ha estado en el centro de la ciudad en un día soleado, ¿ha experimentado pesadez, mareo, sofocación o dolores de cabeza?

La pregunta 4 refleja que el 46.3% consideran a los centros comerciales o tiendas como refugio ante los días soleados, 13.8% se refugian bajo las sombras de edificios y sólo el 40% consideran como refugio los parques, lo que indica que el 60% de los encuestados no reconocen a los parques y por lo tanto la infraestructura verde como fuentes naturales de sombra y alivio térmico. Como se ve en la fig. 4.19.

4. En días soleados en el centro de la ciudad, ¿qué considera como un lugar fresco?

80 respuestas

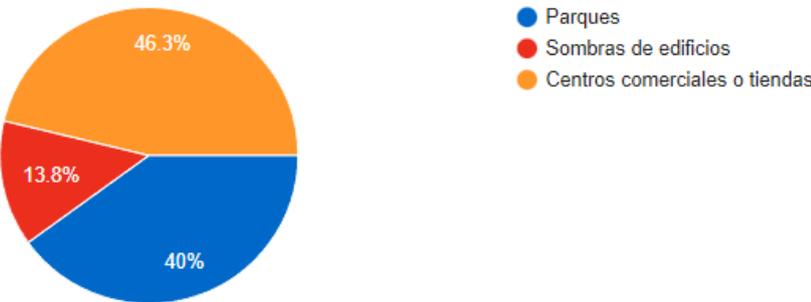


Figura 4.19: Resultados a la pregunta: En días soleados en el centro de la ciudad, ¿qué considera como un lugar fresco?

Finalmente, la fig. 4.20 que hace referencia a la pregunta 5, indica que 92.5% de la población encuestada si considera que emplear infraestructura verde reduciría la presencia de los gases mencionado mientras que el 7.5% no; validando la propuesta del uso de infraestructura verde como un corredor para mitigar la huella de calor y la presencia de gases nocivos.

5. Basado en la premisa del proyecto, ¿considera usted que con infraestructura verde se puede reducir la presencia de gases nocivos para la salud como el dióxido de carbono expulsados por los vehículos y buses en la ciudad?

80 respuestas

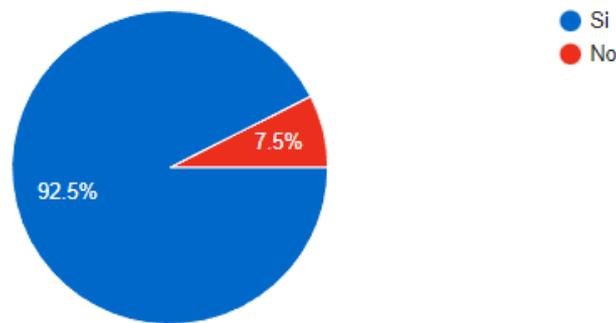


Figura 4.20: Resultados a la pregunta: Basado en la premisa del proyecto, ¿considera usted que con infraestructura verde se puede reducir la presencia de gases nocivos para la salud como el dióxido de carbono expulsados por vehículos y buses en la ciudad?

4.5. Conclusiones

Con los resultados de las mediciones de las variables ambientales se corrobora que la presencia de infraestructura verde reduce la sensación térmica. Al comparar la temperatura de la infraestructura gris, sumado al tráfico vehicular y las emisiones de gases nocivos contra la temperatura que aportan las áreas verdes con una diferencia significativa en la sensación térmica y que además aporta en la captura de carbono. La mejora de la calidad del aire y la reducción de la huella de calor es provista por una mayor presencia de árboles por los corredores verdes.

La investigación realizada para el marco teórico y estado del arte permitieron identificar los parámetros de interés para la **Felicidad** del árbol y obtención de datos. La Temperatura, Humedad relativa, Calidad del Aire y la Humedad del suelo del árbol proporcionan información suficiente para cumplir con el primer objetivo específico del proyecto. Además, sabiendo que el Guayacán es un árbol que vive en climas cálidos y tropicales, también puede sentir estrés inducido por altas temperaturas. Por lo tanto, se logra determinar cuando es buen momento para regarlo; identificando las zonas con aumentos de calor y evitando un maltrato del árbol cuando el agua dentro de la maceta eleve su temperatura.

El sistema embebido empleado para el prototipo posee la funcionalidad que se propuso alcanzar. La información obtenida es procesada y mostrada adecuadamente tanto en el prototipo físico como en la interfaz de usuario desplegada en la nube de Blynk. Los dispositivos de control, alimentación y censado se encuentran lo suficientemente protegidos de acuerdo con las limitaciones encontradas en el proyecto y cumplen su funcionamiento en los distintos entornos de la ciudad de Guayaquil. Por lo tanto, se logra alcanzar el segundo objetivo de implementar un sistema embebido con computación en la nube para los corredores verdes.

La cantidad de árboles depende de varios factores, tales como normativa legal vigente, es decir, los procesos legales relacionados a la plantación de árboles en zonas urbanas. También la especie porque eso determinará el tamaño que tendrá cuando sea un árbol adulto, el DAC. Su posicionamiento y espaciado en las calles seleccionadas no puede interferir con las señales de tránsito, así también el cableado eléctrico para evitar accidentes y un prolongado beneficio de la infraestructura verde.

4.6. Recomendaciones

- Utilizar baterías de Níquel Metal-Hidruro (NiMH) brinda más densidad energética que en la experimentación del prototipo brinda mejor autonomía también ocupan más espacio que utilizar baterías de Li-Ion además de que sus módulos de carga en el mercado son específicos dependiendo de cuántas baterías se usan, sin embargo, con baterías de Li-Ion se encuentran en el mercado módulos de carga con capacidades para conectarse a una carga externa como puede ser un panel solar o mediante micro-USB a un toma-contacto y además conectar al circuito principal.
- Los módulos de carga para baterías de Litio no permiten la carga y funcionamiento del circuito principal de forma simultánea, por lo que es recomendable agregar un P channel MOSFET y Diodo Schottky ó una tabla gestora de carga MCP73871 para permitir que el circuito principal trabaje con la fuente de carga y con las pilas según sea necesario.
- Usar una pantalla Oled permite reducir el consumo energético en comparación con una pantalla lcd por el uso del Backlight.

4.7. Líneas Futuras

Desarrollar un aplicativo basado en microservicios y enlazado a una base de datos permitiría un control y manipulación de datos más directa. Debido a la escasez en experiencia de programación de aplicaciones se optó por la solución web Blynk. Las soluciones gratuitas como Blynk son excelentes para un prototipo y pruebas, pero para producción es requerido una interfaz más personalizada y con mayor escalabilidad.

Al Smart Tree se le pueden agregar más dispositivos inteligentes como detectores de movimiento para el conteo de vehículos y determinar la cantidad de tráfico vehicular en la calle que se encuentra ubicado. También se pueden agregar botones para alertar unidades de emergencia como policía, ambulancia, bomberos en caso de algún robo cercano, accidentes de tránsito o incendios.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado, J. J. A. A. (2016). *Corredores verdes en Santiago de Chile: Tipos y Usuarios* (Tesis doctoral). Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/151436/Corredores-verdes-en-Santiago-de-Chile-tipos-y-usuarios.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Aponte, W. I. G. (s.f.). Corredores verdes urbanos, una apuesta para la configuración de ciudades sostenibles.
- Belmar Ocaña, J. M. (2014). Desarrollo e implementación de espacios verdes inteligentes basados en tecnologías M2M.
- Córdova Sáez, K. (2011). Impactos de las islas térmicas o islas de calor urbano, en el ambiente y la salud humana. *Terra*, 27(42).
- Echávarri, J. P. (2009). Evolución de la consideración de los corredores verdes en la planificación: el caso de Madrid. *Revista de Urbanismo*, (20).
- Evans, D. (2011). Internet de las cosas. *Cómo la próxima evolución de Internet lo cambia todo*. Cisco Internet Business Solutions Group-IBSG, 11(1), 4-11.
- Fortes, S., Hidalgo-Triana, N., Sánchez-la-Chica, J.-M., García-Ceballos, M.-L., Cantizani-Esteba, J., Pérez-Latorre, A.-V., Baena, E., Pineda, A., Barrios-Corpa, J. & García-Marín, A. (2021). Smart Tree: An Architectural, Greening and ICT Multidisciplinary Approach to Smart Campus Environments. *Sensors*, 21(21). <https://doi.org/10.3390/s21217202>
- Gaba, I. (s.f.). Ultimate Guide to JMeter Performance Testing.
- Gabrys, J. (2020). Smart forests and data practices: From the Internet of Trees to planetary governance. SAGE.
- García, A. (s.f.). Ola de calor en Guayaquil; temperaturas por encima de lo normal para diciembre.
- Gebremichael, B., Kefyalew, D., Mulatu, Z., Abdurahaman, M. & WubitTafese. (2023). Impact of Climate Change on Animal Health and Production. *International Journal of Climatic Studies*, 2(1). <https://doi.org/10.47604/ijcs.1769>
- He, F., Liu, L. & Huang, Y. (2023). Investigating the Spatial Heterogeneity of Urban Heat Island Responses to Climate Change Based on Local Climate Zones. 15(6298).
- Horte, O. & Eisenman, T. (2020). Urban Greenways: A Systematic Review and Typology. *Land*, 9(2).
- Hunter, R. F., Dallat, M. A., Tully, M. A., Heron, L., O'Neill, C. & Kee, F. (2022). Social return on investment analysis of an urban greenway. *Cities & Health*, 6(4), 693-710. <https://doi.org/10.1080/23748834.2020.1766783>

- Matasov, V., Belelli Marchesini, L., Yaroslavtsev, A., Sala, G., Fareeva, O., Seregin, I., Castaldi, S., Vasenev, V. & Valentini, R. (2020). IoT monitoring of urban tree ecosystem services: Possibilities and challenges. *Forests*, 11(7), 775.
- Medina-Fernández, S. L., Núñez, J. M., Barrera-Alarcón, I. & Perez-DeLaMora, D. A. (2023). Surface Urban Heat Island and Thermal Profiles Using Digital Image Analysis of Cities in the El Bajío Industrial Corridor, Mexico, in 2020. *earth*, (4), 93-150.
- Ojeda, A. J. A., Becchi, F. G. G. & Cartes, S. D. (2014). *Manual de plantación de árboles en áreas urbanas*. CONAF.
- Salazar, J. & Silvestre, S. (2016). Internet de las cosas. *Techpedia. České vysoké učení technické v Praze Fakulta elektrotechnická*.
- Serrano, P. N. (s.f.). Corredores verdes naturalizados en Barcelona.
- Sseviiri, H. (2023). Heat Risk Perception and Communication Strategies for Adaptation within Low-Income Communities in Kampala City, Uganda. *ResearchGate*.
- Stamenković, M. & Živković, M. (2022). *Benefits of the green roofs application on an urban scale* (inf. téc.). Serbia, Nis, University of Nis.
- Wu, Z., Xu, Y., Cao, Z., Yang, J. & Zhu, H. (2021). Impact of Urban Agglomeration and Physical and Socioeconomic Factors on Surface Urban Heat Islands in the Pearl River Delta Region, China. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 14, 8815-8822. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2021.3108456>
- Yang, J., Zhao, L. & Oleson, K. (2023). Large humidity effects on urban heat exposure and cooling challenges under climate change. *Environmental Research Letters*, 18(4). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/acc475>

APÉNDICES

A. Presupuesto del proyecto

En esta sección se detallan los costos de implementación del proyecto y el presupuesto necesario para el desarrollo de productos como se observará en la siguiente tabla A.1.

Considerando la legislatura en el Ecuador, un ingeniero telemático que entra en el sector de Tecnología: Hardware y software (incluyendo TIC's) gana un mínimo de \$472.29 al mes, observemos la tabla A.2

Se puede estimar que la producción de un prototipo cuesta alrededor de \$1999.22.

Tabla A.1: Tabla de Costos de materiales

Item	Precio (\$)
Node MCU v3 - ESP8266	10
Baterías recargables de Li-Ion (x2)	5
Caja protectora impresa 3d	15
Multímetro	6.2
Caja para proyecto negra	4.3
Sensor temperatura y humedad DHT22	6.5
Pantalla LCD 16x2 Backlight w/ I2C	3.7
Módulo sensor humedad de suelo	2.5
Módulo sensor calidad de aire	3.6
Cable awg24 2.5m	0.5
Maceta pequeña	3.09
Maceta grande	4.83
Guayacán joven	8
Soporte panel solar	8
Tierra de sembrado	1.45
Garrucha (x4)	5.36
Varilla 1/4"	Donado
Trabajo de soldadura	5
Cautin	6.8
Estaño (1m)	1.5
Módulo de carga baterías Li-ion	1.5
Switch	0.5
Portapilas (x2)	2
Diodo Schottky	1.2
P Mosfet	2.1
Cinta doble fast	1.43
Total	110.06

Tabla A.2: Tabla de Costos Salariales

Personal	Salario mensual(\$)	Meses de trabajo	Total(\$)
Luis Macías	472.29	2	944.58
Miguel León	472.29	2	944.58

B. Código del controlador del Sistema Embebido

En esta sección se muestra el código del ESP8266 realizado con el IDE de Arduino. Se detallan las instrucciones de las pruebas realizadas y el código fuente para el funcionamiento del sistema embebido. En el código se describen en comentarios lo realizado.

Código 1: Código Smart_Tree

```

/** Proyecto Integrador: Smart Tree
Autores:
Luis Macias
Miguel Leon
*/

// Definiciones a utilizar para conexión a Blynk Cloud
#define BLYNK_PRINT Serial
#define BLYNK_TEMPLATE_ID "TMPL2zRK80jMe"
#define BLYNK_TEMPLATE_NAME "Smart Tree"
#define BLYNK_AUTH_TOKEN "N9v0SoIhhJh2oLwVcGbLnYQ5YhFrh9y4"

// Declaración de librerías a utilizar
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <BlynkSimpleEsp8266.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <DHT.h>
#include <SPI.h>

// Información de la señal WiFi

// Variables para medir latencia

```

```

unsigned long startTime = 0;
unsigned long endTime = 0;
unsigned long latency;

// Variables de tiempo para enviar datos a la nube y luego dormir
unsigned long previousTime = 0;
const unsigned long eventInterval = 30000;

// Declaración de credenciales para conexión WiFi
char ssid[] = "NETLIFE-gyeaamaciast1"; // Conexión local
char pass[] = "1313199273";
//char ssid[] = "realme 7 Pro"; // Conexión de medidas reales
//char pass[] = "m89r3ak2";

/* Definición de variables para sensores */
// Sensor de temperatura y humedad
#define DHTPin 12 // Corresponde a GPIO 12 Pin D6
#define DHTTYPE DHT22
DHT dht(DHTPin, DHTTYPE);
float temp = 0;
float humid = 0;

// Sensor de Calidad del aire
int MQPin = A0; // Corresponde a GPIO 13 Pin D7
int MQData = 0;

// Sensor de humedad del suelo
#define sensorPin 13 // Entrada digital Pin D7
int sensorData = 0;

BlynkTimer timer;

/**
 * Pantalla LCD con I2C
 * Dirección de memoria en 0x27 para pantalla de 16 caracteres y 2 líneas
 * Creación de caracteres para los emogis de feliz y triste
 */
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2);
byte Smile[8] = {

```

```

    0b00000,
    0b11111,
    0b10101,
    0b11111,
    0b01110,
    0b10001,
    0b11111,
    0b00000
};

byte Sad[8] =
{
    0b00000,
    0b11111,
    0b10101,
    0b11111,
    0b10001,
    0b01110,
    0b11111,
    0b00000
};

// Función para mostrar datos en pantalla
void printLCD(){
    float temp = 0; // Se crean variables locales para mostrar datos
    float humid = 0; // evita que la pantalla muestre datos vacios cuando enciende
    int MQData = 0;
    int sensorData = 0;
    temp = dht.readTemperature();
    humid = dht.readHumidity();
    MQData = analogRead(MQPin);
    sensorData = digitalRead(sensorPin);
    lcd.setCursor(2,0);
    lcd.print("TEMPERATURE: ");
    lcd.setCursor(9,1);
    lcd.print("C");
    lcd.setCursor(3,1);
    lcd.print(temp);

```

```

delay(2000);
lcd.clear();
lcd.setCursor(2,0);
lcd.print("HUMIDITY: ");
lcd.setCursor(9,1);
lcd.print("%");
lcd.setCursor(3,1);
lcd.print(humid);
delay(2000);
lcd.clear();
lcd.setCursor(2,0);
lcd.print("AIR QUALITY: ");
lcd.setCursor(9,1);
lcd.print("PPM");
lcd.setCursor(3,1);
lcd.print(MQData);
delay(2000);
lcd.setCursor(2,0);
if (sensorData==HIGH){
    lcd.clear();
    lcd.print("SOIL MOISTURE: ");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("DRY! NEED WATER!");
    delay(2000);
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(2,0);
    lcd.print("TREE STATE: ");
    lcd.setCursor(4,1);
    lcd.write(1);
    lcd.setCursor(6,1);
    lcd.write(1);
    lcd.setCursor(8,1);
    lcd.write(1);
    delay(2000);
    lcd.clear();
}else {
    lcd.clear();
    lcd.print("SOIL MOISTURE: ");
    lcd.setCursor(0,1);

```

```

    lcd.print("PERFECT!");
    delay(2000);
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(2,0);
    lcd.print("TREE STATE: ");
    lcd.setCursor(4,1);
    lcd.write(0);
    lcd.setCursor(6,1);
    lcd.write(0);
    lcd.setCursor(8,1);
    lcd.write(0);
    delay(2000);
    lcd.clear();
}
delay(1000);
}

// Funcion para leer y enviar datos del sensor DHT
void sendDHTSensor()
{
    //startTime = millis();
    temp = dht.readTemperature();
    humid = dht.readHumidity();

    if (isnan(temp) || isnan(humid)){
        Serial.println("Failed to read from DHT sensor!");
        return;
    }

    /** Código para verificar latencia y tamaño de datos **/
    //Serial.println("Tamaño de Datos temperatura");
    //Serial.println(sizeof(temp));
    //Serial.println("Tamaño de Datos humedad");
    //Serial.println(sizeof(humid));
    Blynk.virtualWrite(V0, (int)temp); // puerto virtual V0 para temperatura
    Blynk.virtualWrite(V1, (int)humid); // puerto virtual V1 para humedad
    //endTime = millis();
    //latency = endTime - startTime;
    //Serial.println("Latencia datos temperatura y humedad");

```

```

    //Serial.println(latency);
}

// Funcion para leer y enviar datos del sensor MQ135
void sendMQSensor()
{
    //startTime = millis();
    MQData = analogRead(MQPin);
    //Serial.println("Tamaño de Datos MQ"); /** Código para verificar latencia y tamaño de datos **/
    //Serial.println(sizeof(MQData));
    Blynk.virtualWrite(V2, MQData);
    //endTime = millis();
    //Serial.println("Latencia datos sensor MQ");
    //Serial.println(latency);
}

// Funcion para leer y enviar datos del sensor FC-28
void sendMoistureSensor()
{
    //startTime = millis();
    sensorData = digitalRead(sensorPin);
    if (sensorData==HIGH and temp <= 25.0){
        Blynk.virtualWrite(V5, "Suelo seco! Necesita Riego!");
        Blynk.virtualWrite(V4, 1);
        //endTime = millis();
    } else {
        Blynk.virtualWrite(V5, "Suelo con agua!No necesita riego");
        Blynk.virtualWrite(V4, 0);
        //endTime = millis();
    }

    /** Código para verificar latencia y tamaño de datos **/
    //Serial.println("Tamaño de Datos Suelo");
    //Serial.println(sizeof(sensorData));
    //Serial.println("Latencia datos humedad del suelo");
    //Serial.println(latency);
}

// Configuraciones para el correcto funcionamiento del controlador y dispositivos

```

```

void setup()
{
  pinMode(MQPin, INPUT);
  pinMode(sensorPin, INPUT);
  Serial.begin(9600);
  Blynk.begin(BLYNK_AUTH_TOKEN, ssid, pass);
  dht.begin();
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  lcd.clear();
  lcd.createChar(0, Smile);
  lcd.createChar(1, Sad);
  timer.setInterval(3000L, sendDHTSensor); // Envio de datos a la nube de Blynk
  timer.setInterval(3000L, sendMQSensor); // Evitar colocar esta instruccion en el loop
  timer.setInterval(3000L, sendMoistureSensor);
}

void loop()
{
  unsigned long currentTime = millis(); \\ variable para tomar tiempo de evento
  Serial.println("Despierto"); \\ conocer si el controlador está despierto por Serial
  Blynk.run();
  timer.run();
  printLCD();
  if (currentTime - previousTime >= eventInterval){ \\ Condición para manejar evento de dormir
    previousTime = currentTime;
    endTime = millis();
    latency = endTime - startTime;
    Serial.println(latency);
    Serial.println("A dormir");
    lcd.noBacklight();
    ESP.deepSleep(1800e6); // Invocación deep sleep a 30 minutos
  }
}

```

C. Imágenes del desarrollo del prototipo

En esta sección se muestran las fotos tomadas mientras se realizó la implementación de la solución del proyecto. Se evidencia la participación de los dos estudiantes para darle forma al prototipo.



Figura C.1: Empezando a modificar maceta del prototipo



Figura C.2: Agregando ruedas a la maceta



Figura C.3: Cortando material para armar estructura



Figura C.4: Estructura interior de la maceta

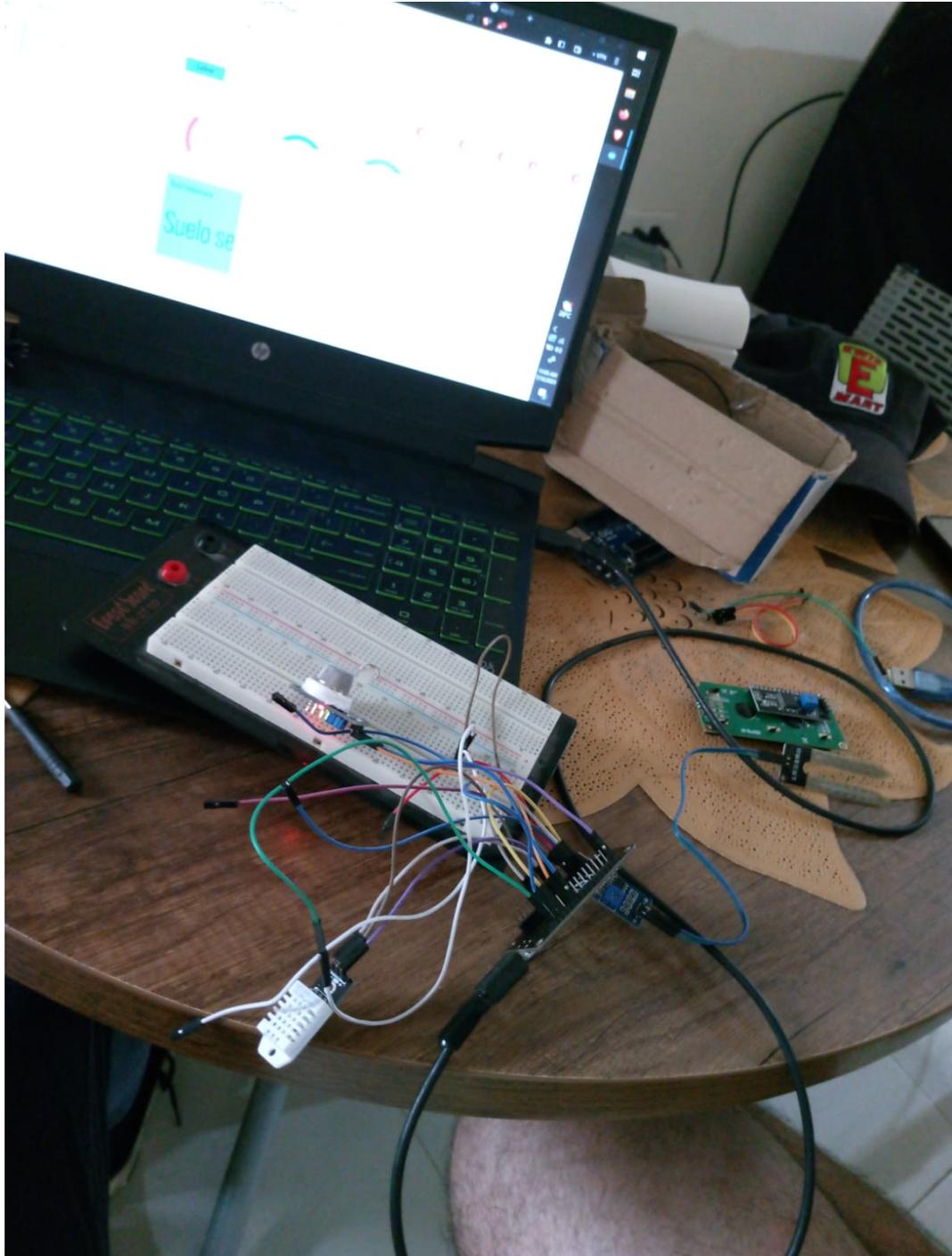


Figura C.5: Primer armado del sistema embebido



Figura C.6: Modificaciones de la maceta



Figura C.7: Ubicando la caja de la pantalla y sensor de aire



Figura C.8: Pantalla y sensor de calidad de aire agregados a la caja protectora



Figura C.9: Ubicando la caja protectora a la maceta

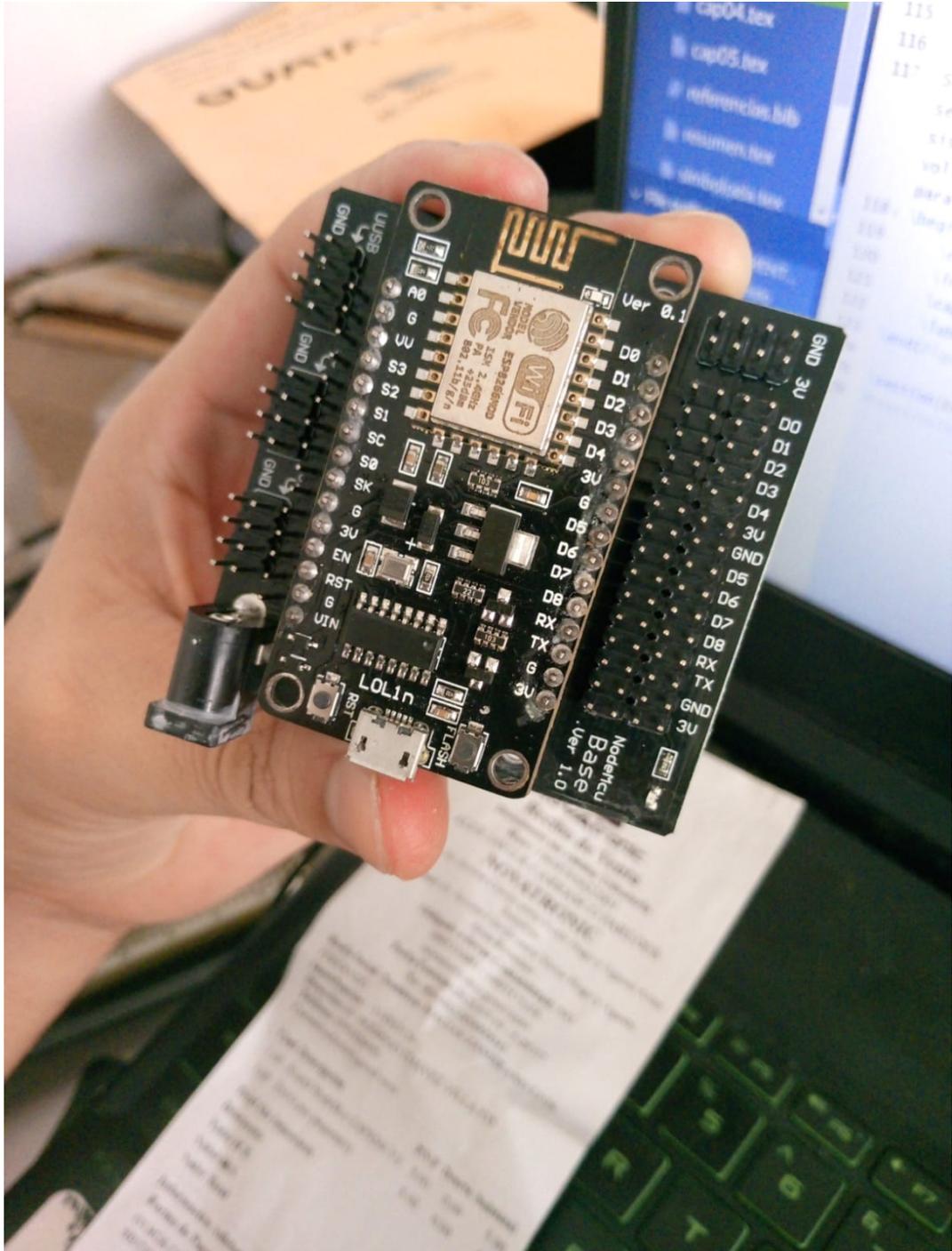


Figura C.10: Ubicando ESP8266 en el shield

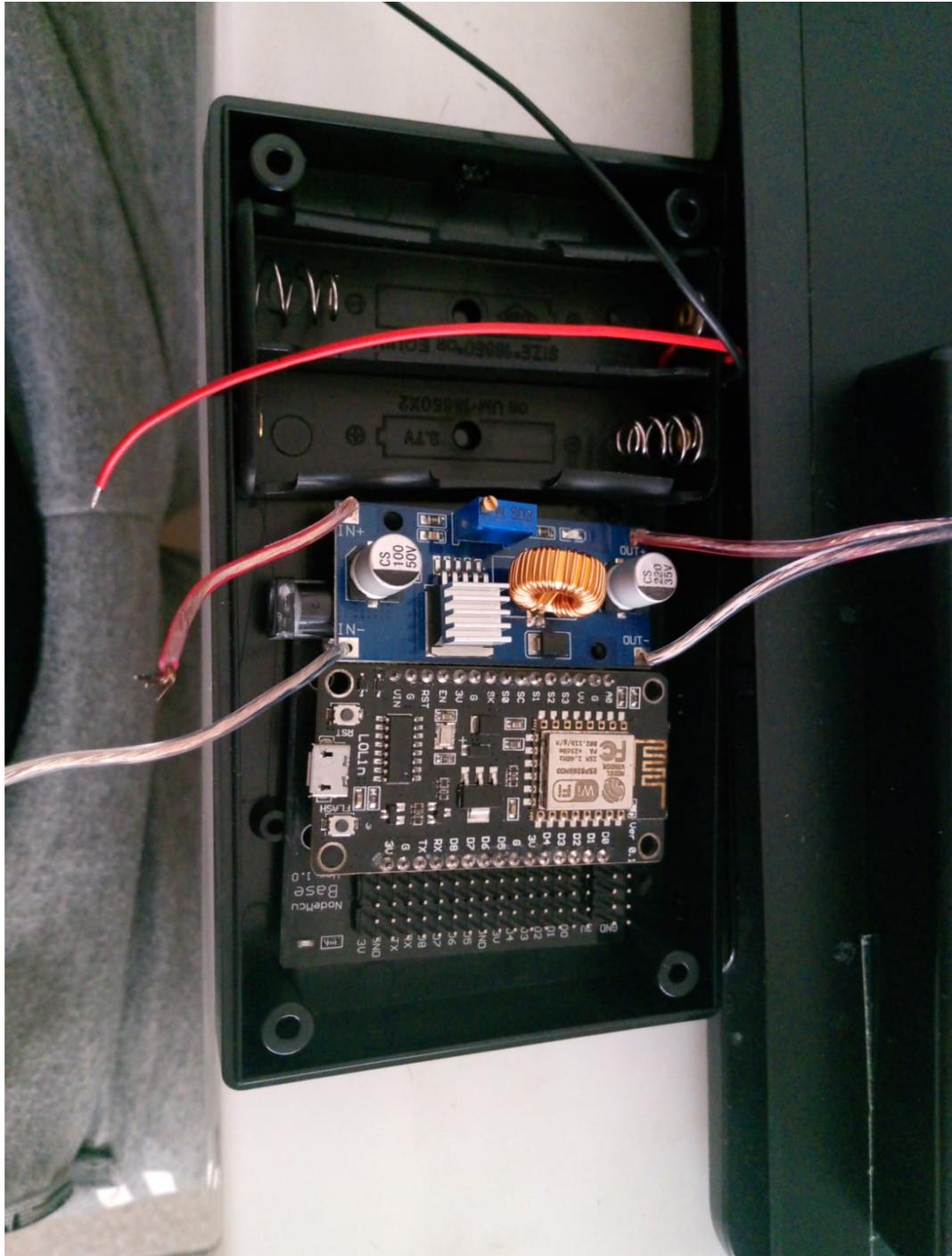


Figura C.11: Ubicando circuito de alimentación y controlador a la caja negra

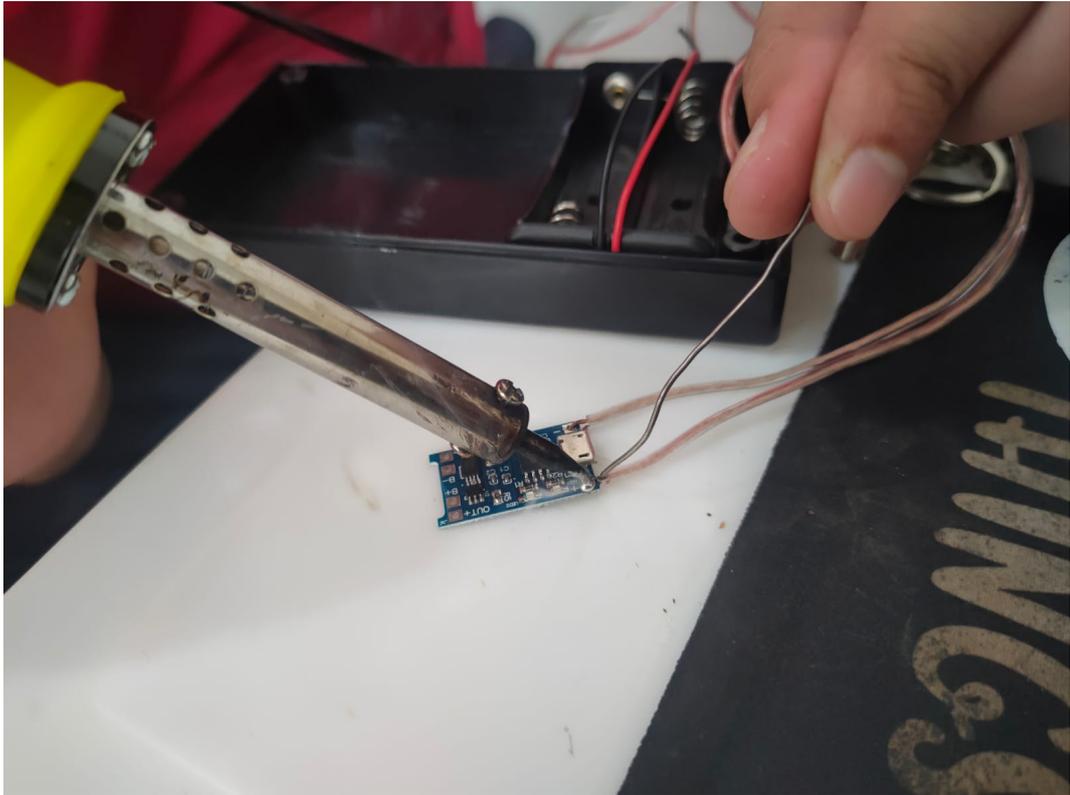


Figura C.12: Soldando módulo de carga de baterías

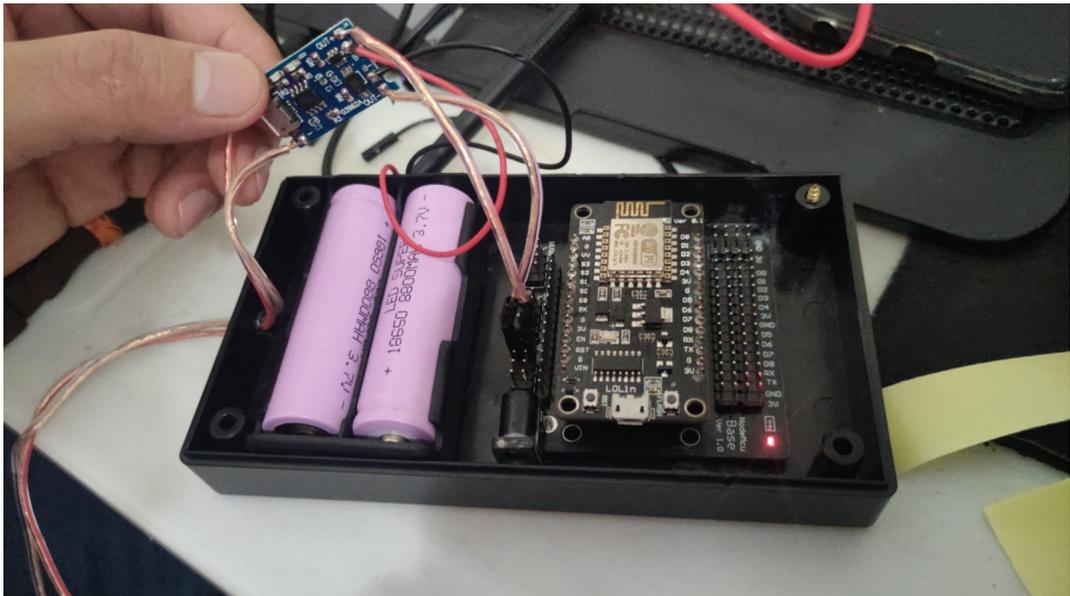


Figura C.13: Verificando funcionamiento de circuito alimentador y controlador

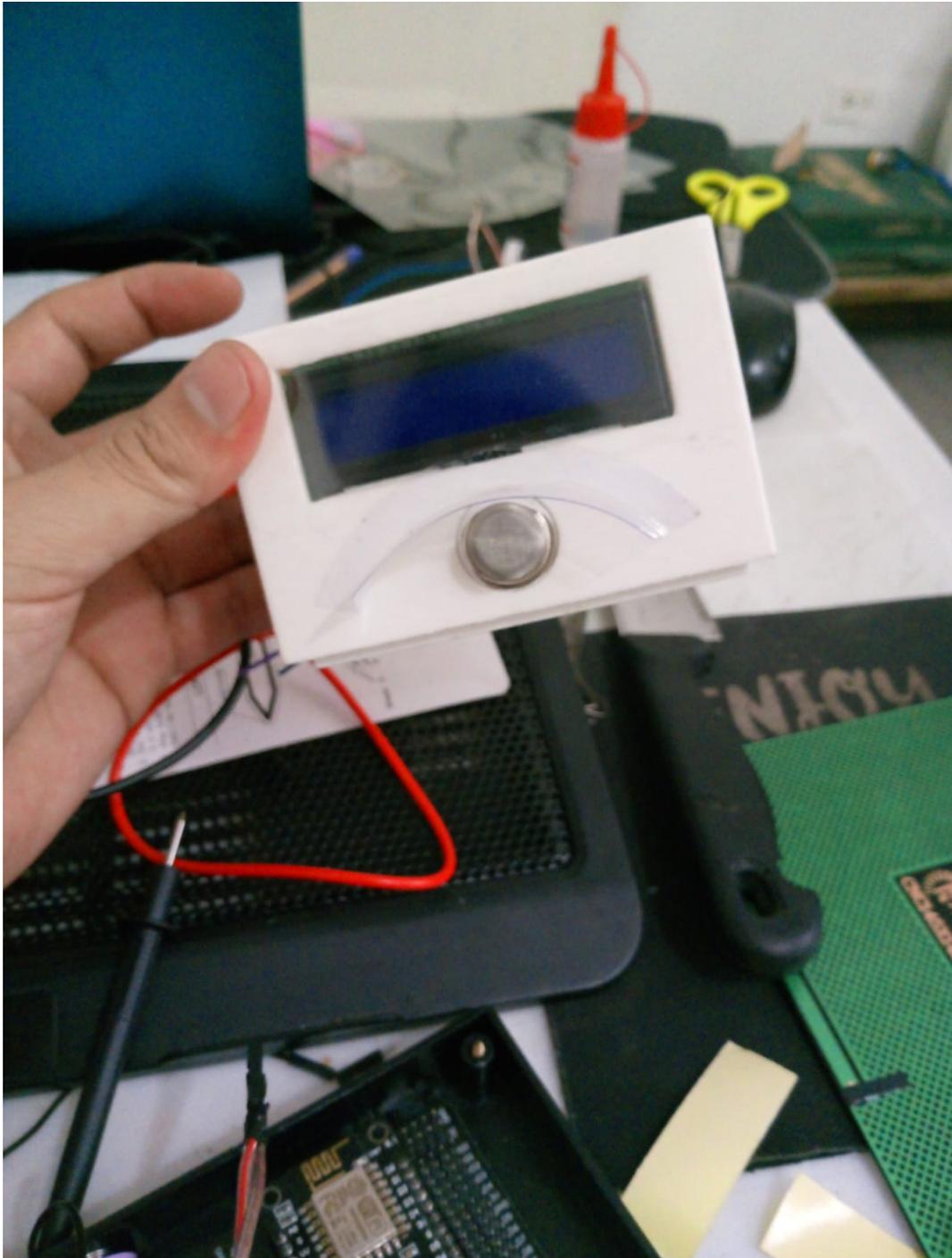


Figura C.14: Pantalla y sensor de calidad de aire adheridos a la caja

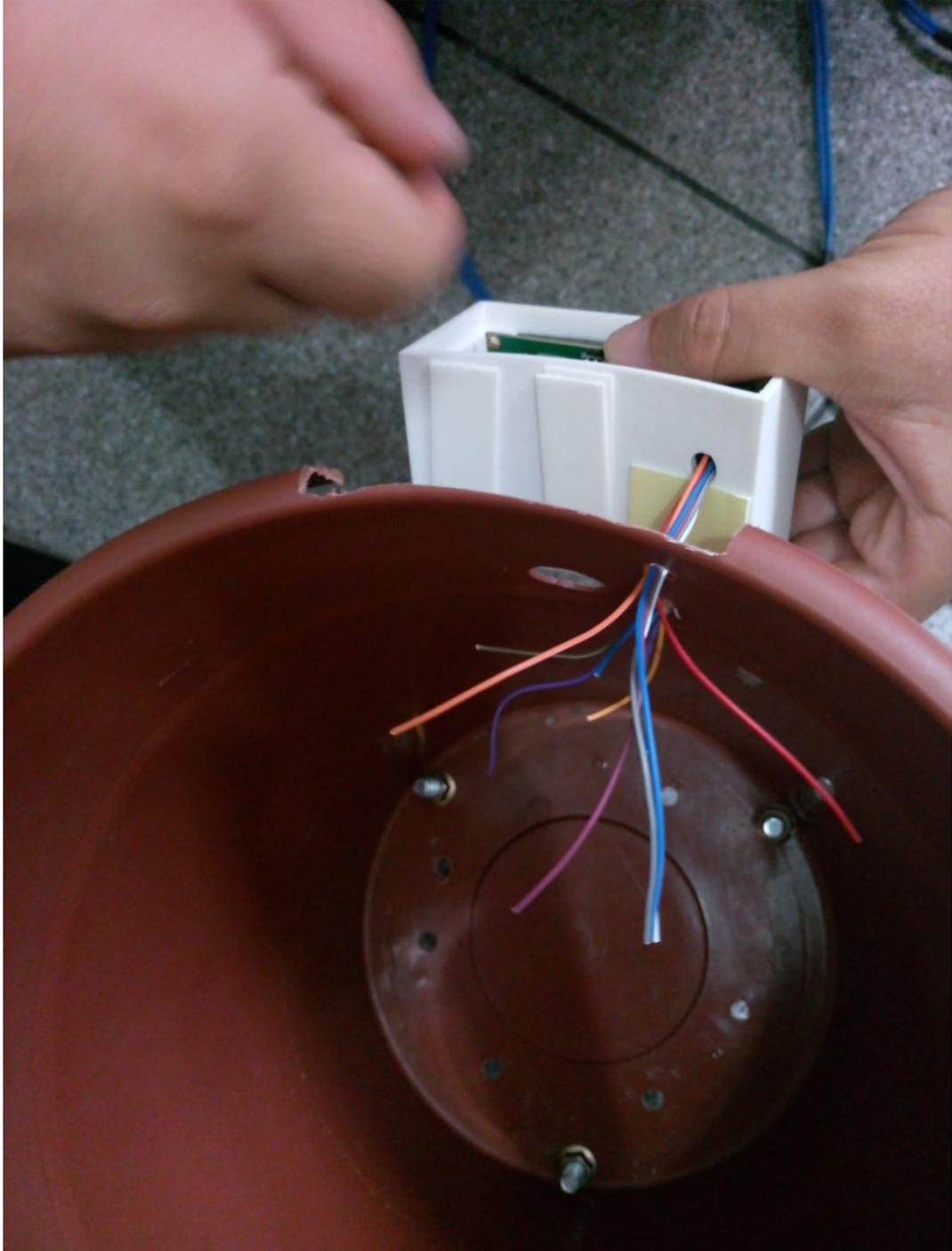


Figura C.15: Pegando caja a la maceta con cinta doble cara



Figura C.16: Resultado de caja adherida a la maceta



Figura C.17: Realizando trabajo de soldadura de las conexiones



Figura C.18: Avance en el trabajo de soldadura



Figura C.19: Caja negra de alimentación y controlador terminada

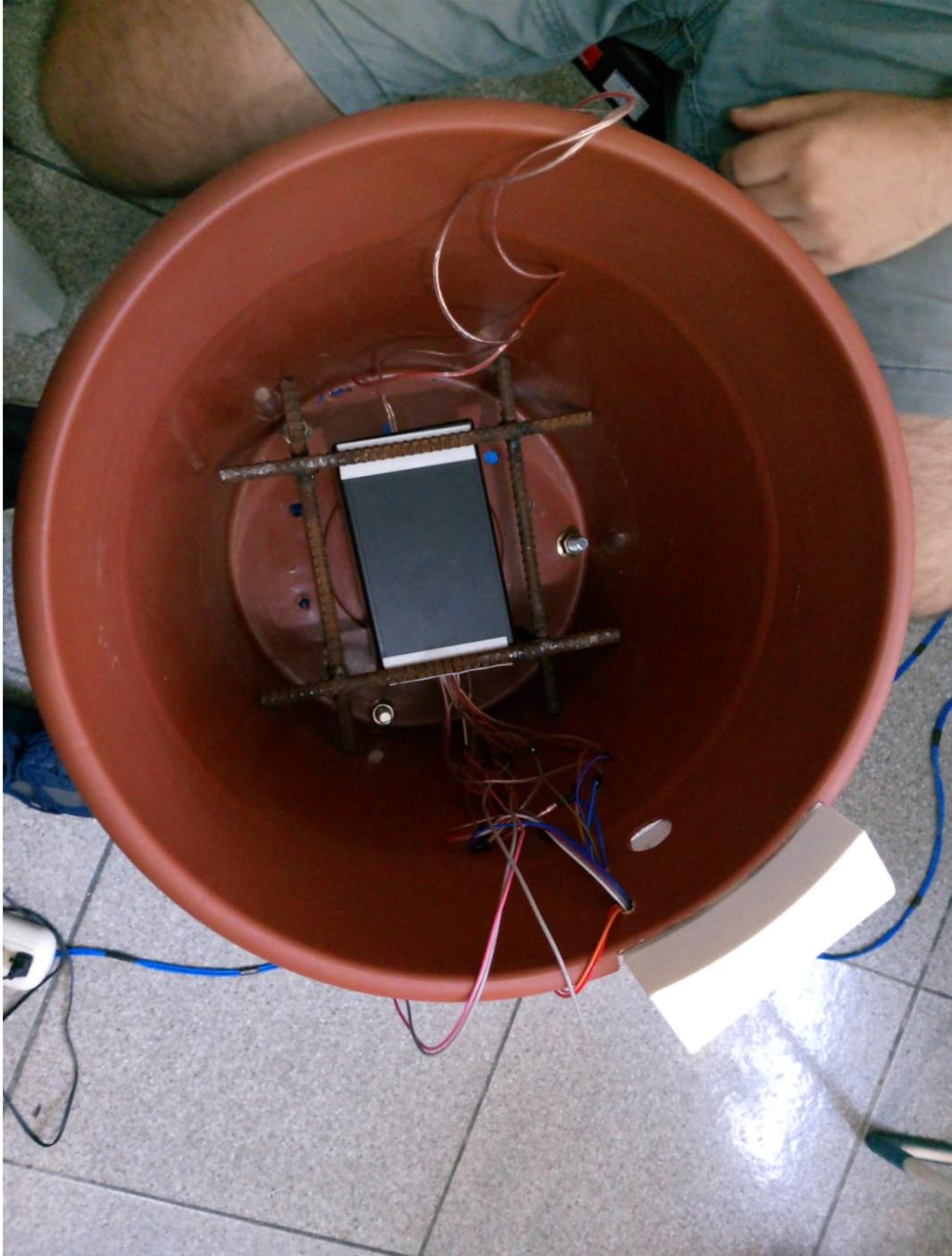


Figura C.20: Agregando estructura de metal para sostener la maceta del árbol

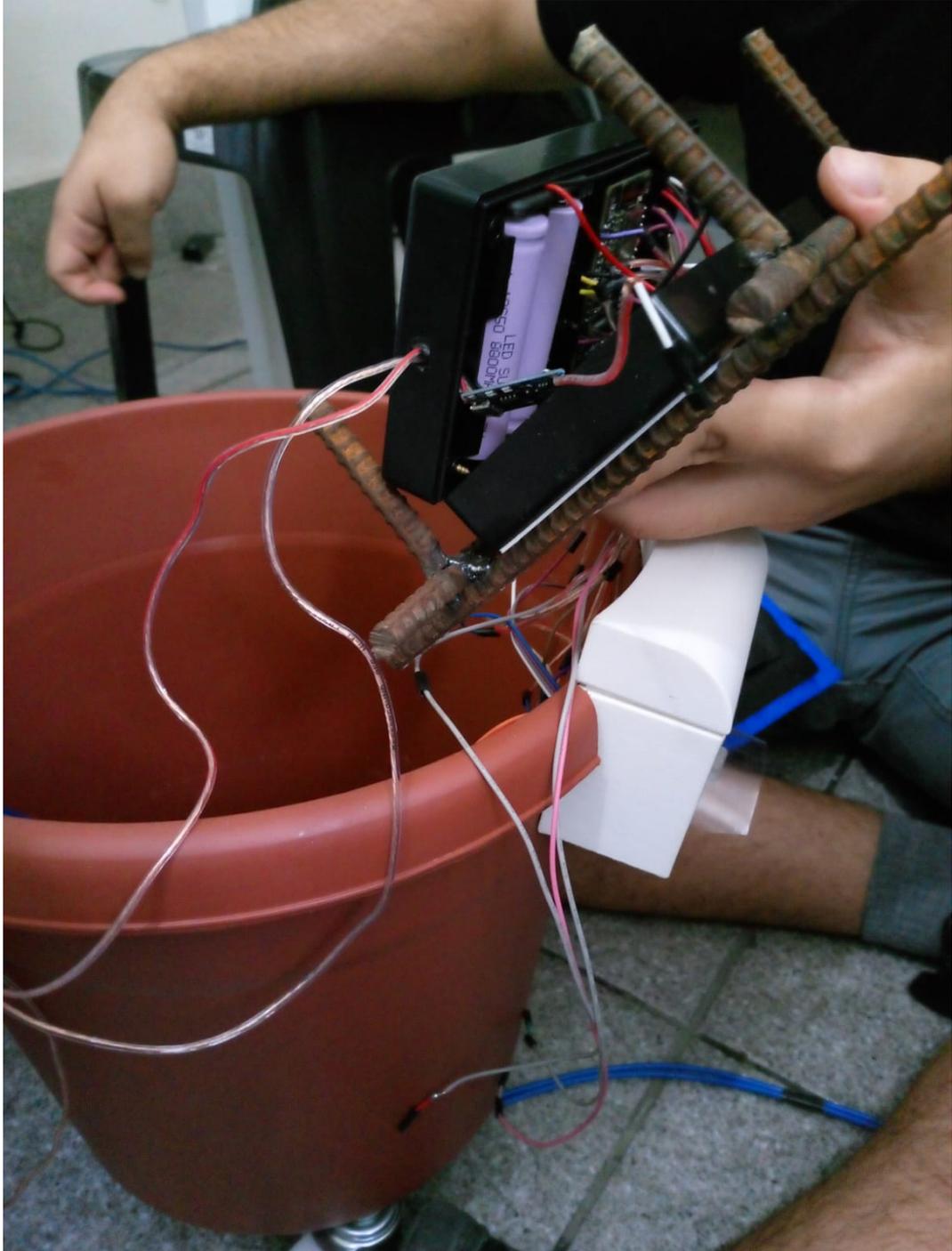


Figura C.21: Comprobación de conexiones al controlador



Figura C.22: Resultado final del prototipado



Figura C.23: Visualización de variables en la pantalla LCD



Figura C.24: Mediciones en la calle



Figura C.25: Mediciones en el parque Centenario