



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

**TEMA: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA
AUTOSUSTENTABLE COMO APLICACIÓN DE SMART CITIES
PARA INFORMACIÓN AUTOMATIZADA DE VARIABLES
METEOROLÓGICAS.”**

AUTORES: CUICHÁN AYO, DANNY JAVIER;

SARAVIA AVILA, BRYAN ALEXANDER

DIRECTOR: ING. PROAÑO ROSERO, VÍCTOR GONZALO Mgs.

SANGOLQUÍ

2020



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, *“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOSUSTENTABLE COMO APLICACIÓN DE SMART CITIES PARA INFORMACIÓN AUTOMATIZADA DE VARIABLES METEOROLÓGICAS.”* realizado por los señores *Cuichán Ayo, Danny Javier; Saravia Avila, Bryan Alexander*, el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, enero 2020

Firma:

.....
Ing. Proaño Rosero, Víctor Gonzalo Mgs.

C.C.: 1706457924



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL**

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, *Cuichán Ayo, Danny Javier; Saravia Avila, Bryan Alexander*, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: *“Diseño e implementación de un sistema autosustentable como aplicación de Smart Cities para información automatizada de variables meteorológicas.”* es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, enero 2020

Firmas

Cuichán Ayo Danny Javier

C.C: 1722295167

Saravia Avila Bryan Alexander

C.C: 1721701215



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL

AUTORIZACIÓN

Nosotros, *Cuichán Ayo, Danny Javier; Saravia Avila, Bryan Alexander*, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: “*Diseño e implementación de un sistema autosustentable como aplicación de Smart Cities para información automatizada de variables meteorológicas.*”, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Sangolquí, enero 2020

Firmas

Cuichán Ayo Danny Javier

C.C: 1722295167

Saravia Avila Bryan Alexander

C.C: 1721701215

DEDICATORIA

Este proyecto puso a prueba todo el conocimiento y habilidades que adquirimos a lo largo de nuestra vida estudiantil. Se pasaron triunfos, alegrías y momentos difíciles. Aprendimos habilidades y conocimiento nuevo para nosotros. Se tuvo que analizar varios aspectos que parecían irrelevantes durante la carrera universitaria pero que al final son importantes. Hubo mucho sacrificio, pero no nos rendimos y se logró concretar este proyecto.

Es por eso que dedico este trabajo a aquella persona que está por egresar en alguna carrera tecnológica o que este por realizar un proyecto, para que considere que sus conocimientos actuales pueden no ser suficiente para lograr una meta, para que no se rinda al primer tropiezo y que logre dar con una solución ante cualquier situación.

Dedico también este trabajo a la comunidad universitaria, esperando a que, de algún modo, pueda ayudarles a mejorar su percepción sobre las variables meteorológicas y cómo influyen en sus vidas.

Cuichán Ayo, Danny Javier

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a todas las personas que busquen el conocimiento para el avance tecnológico del Ecuador y el mundo respetando a nuestro planeta con toda su diversidad, pues a lo largo de estos años he aprendido que el Ecuador es un país inmensamente rico y diverso, pero al mismo tiempo con enormes barreras, generalmente impuestas por políticas irresponsables. Pero estas se superan con colaboración, espero este trabajo logre motivar a construir más tecnología ecuatoriana. Con el sueño de que un día la colaboración y la razón colectiva dicten el futuro.

Saravia Avila, Bryan Alexander

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres Galo Cuichán y Cecilia Ayo por apoyarme y darme su amor en el transcurso de mi vida. Y sé que tarde o temprano yo responderé a su apoyo con el conocimiento que he recibido en mi vida estudiantil.

Agradezco a mis camaradas y amigos que he tenido la suerte de conocer. Por el apoyo de equipo en momentos difíciles y por la celebración de triunfos a lo largo de mi vida estudiantil.

Agradezco a la Universidad de las Fuerzas armadas por el conocimiento adquirido en mi vida universitaria.

Agradezco al Colegio Nacional Antisana y por forjar mis bases académicas.

Agradezco a la Escuela Rafael Armijos Valdiviezo, su directora Norma Lema y a sus docentes, por ayudarnos con las instalaciones para construir los prototipos en este proyecto.

Agradezco a los clubes de IEEE Rama estudiantil ESPE y Robótica ESPE ayudarnos física y moralmente durante el desarrollo del proyecto.

Agradezco al Mayo. Carlos Gonzales, por el apoyo que nos ha brindado en el desarrollo de este proyecto, esperamos que este proyecto de comienzo a más aplicaciones dentro del campus.

Agradezco al Ing. Víctor Proaño por sus consejos y apoyo como tutor de Tesis.

Agradezco a la Ing. Silvia Arévalo por inculcarme la lógica y las bases de programación.

Agradezco al Ing. Paúl Mejía por sus enseñanzas sobre los circuitos eléctricos, bases de toda electrónica.

Finalmente, agradezco a todos los docentes de calidad que he conocido desde la escuela hasta este momento, por compartir sus conocimientos y ayudarme a crecer de forma intelectual y emocional.

Cuichán Ayo, Danny Javier

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres y hermanos por el esfuerzo diario para ayudarme a concretar este sueño de tener el conocimiento para crear.

Agradezco especialmente a mi hermana Jenny por el apoyo incondicional, el ejemplo de perseverancia y la gran enseñanza de que no existe el esfuerzo inútil.

Agradezco a mis profesores, entrenadores y amigos en el I.T.S Sucre, que formaron a temprana edad gran parte del carácter y disciplina que me distinguen.

Agradezco a mis profesores de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, por el conocimiento compartido en el área científico – técnica, sobre todo a aquellos profesores que supieron compartir la pasión por nuestra carrera.

Agradezco al Ing. Víctor Proaño por brindarnos el apoyo para desarrollar el presente proyecto en cada una de sus etapas.

Agradezco a los clubes de IEEE Rama estudiantil ESPE y Robótica ESPE por facilitarnos sus instalaciones para trabajar en el desarrollo de los sistemas de este proyecto.

Agradezco a la Lic. Norma Lema directora de la Escuela Rafael Armijos Valdiviezo y a sus docentes, por ayudarnos con las instalaciones para construir y probar los prototipos en este proyecto.

Agradezco al Mayo. Carlos Gonzales, por el apoyo en el desarrollo de este proyecto, esperamos que sea uno de muchos proyectos desarrollados, con mira al emprendimiento.

Agradezco a las comunidades de Open Source, Open Hardware y Saturdays AI alrededor del mundo, porque han impulsado mi conocimiento y libreado mi mente más allá de toda frontera.

Saravia Avila, Bryan Alexander

ÍNDICE DE CONTENIDOS

<i>CERTIFICACIÓN</i>	<i>ii</i>
<i>AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD</i>	<i>iii</i>
<i>AUTORIZACIÓN</i>	<i>iv</i>
<i>DEDICATORIA</i>	<i>v</i>
<i>DEDICATORIA</i>	<i>vi</i>
<i>AGRADECIMIENTOS</i>	<i>vii</i>
<i>AGRADECIMIENTOS</i>	<i>viii</i>
<i>ÍNDICE DE CONTENIDOS</i>	<i>ix</i>
<i>ÍNDICE DE TABLAS</i>	<i>xv</i>
<i>ÍNDICE DE FIGURAS</i>	<i>xvii</i>
<i>LISTADO DE ABREVIATURAS</i>	<i>xxii</i>
<i>RESUMEN</i>	<i>xxiv</i>
<i>ABSTRACT</i>	<i>xxv</i>
<i>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN</i>	<i>1</i>
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	5
1.3 ALCANCE	8
1.4 OBJETIVOS	11
1.4.1 Objetivo general.....	11

1.4.2	Objetivos específicos	11
<i>CAPÍTULO II: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA</i>		12
2.1	Meteorología.....	12
2.1.1	Temperatura	12
2.1.2	Presión Atmosférica.....	13
2.1.3	Humedad.....	14
2.1.4	Iluminación	15
2.1.5	Radiación UV	16
2.2	Fuentes de información meteorológica en Ecuador	18
2.3	Definición de IoT y Urbótica	20
2.3.1	Urbótica	20
2.3.2	Internet de las cosas (IoT).....	23
2.4	Servidor Web Embebido.....	28
2.5	Interfaces de Programación de Aplicaciones Web (API's).....	29
2.6	Protocolos en IoT	31
2.7	Protocolos útiles para este proyecto.....	31
2.7.1	Protocolo de tiempo de red (NTP).....	31
2.7.2	Sistema de nombres de dominios (DNS).....	32
2.7.3	Multicast DNS (mDNS)	33
2.7.4	HTTP	34
2.8	Redes LPWAN	35
2.8.1	LoRa	35
2.8.2	LoRaWAN.....	36

2.9	Bases de datos (BD)	38
2.9.1	BD Relacionales	39
2.9.2	BD no relacionales.....	41
2.10	Microcontroladores y tarjetas de desarrollo dedicadas al IoT	42
2.10.1	Microcontroladores de 32 bits	42
2.10.2	Spark Core	44
2.10.3	Intel Galileo	44
2.10.4	Node MCU (ESP8266).....	45
2.10.5	ESP32 Dev Kit.....	46
2.10.6	Módulo TTGO ESP32 LoRa	47
2.10.7	Arduino Nano 33 IoT.....	47
2.10.8	Arduino MKR WAN 1310	48
2.11	Energías renovables y su clasificación	49
2.11.1	La energía eólica.....	49
2.11.2	La energía hídrica	50
2.11.3	La energía fotovoltaica	50
2.11.4	Aplicaciones de la energía fotovoltaica	50
2.11.5	Cosecha energética en sistemas fotovoltaicos	51
2.11.6	Eficiencia energética.....	53
<i>CAPÍTULO III: INGENIERÍA BÁSICA</i>		54
3.1	Descripción general de los sistemas	54
3.2	Selección de una fuente alternativa	55
3.3	Determinación de la ubicación de las estaciones	56

3.3.1	Análisis de sombras	56
3.3.2	Verificación de los modelos conceptuales.....	59
3.3.3	Obtención de sombras anuales.....	62
3.3.4	Análisis de lugares concurridos	67
3.3.5	Ubicación Final de la Micro estación meteorología y las estaciones de información meteorológica.....	70
3.4	Comparación de las diferentes tarjetas de desarrollo	71
3.5	Análisis de sensores meteorológicos compatibles.....	74
3.6	Comparación y selección de pantalla.....	78
3.7	Metodología para realizar la Instalación solar fotovoltaica (ISFV)	80
3.7.1	Ubicación de los equipos	81
3.7.2	Determinación del consumo eléctrico	81
3.7.3	Elección de la tensión de trabajo y tipo (AC o DC)	82
3.7.4	Autonomía de la instalación	82
3.7.5	Dimensionamiento de la instalación.....	82
	<i>CAPÍTULO IV: INGENIERÍA DE DETALLE</i>	88
4.1	Detalle de componentes de los sistemas electrónicos	88
4.1.1	Sensor BME280.....	88
4.1.2	Sensor de radiación solar ML8511	91
4.1.3	Índice UV.....	91
4.1.4	Sensor BH1750FVI	92
4.1.5	Altura	92
4.1.6	Tarjeta de desarrollo TTGO LoRa32 V1	93

4.1.7	Diagramas de bloques de los sistemas.....	94
4.2	Programación de las tarjetas de desarrollo.....	96
4.2.1	Diagramas de casos de uso	96
4.2.2	Diagramas de Paquetes	99
4.2.3	Diagramas de Flujo.....	101
4.3	Desarrollo de Aplicaciones WEB	105
4.3.1	Diseño de páginas	105
4.3.2	Diagramas de Estados.....	108
4.3.3	WebSockets	109
4.4	Integración de base de datos no relacional.....	111
4.5	Ajuste de respuesta de sensores.....	113
4.6	Dimensionamiento y especificaciones sobre los elementos de los sistemas fotovoltaicos aislados.....	117
4.6.1	Resumen de los sistemas fotovoltaicos.....	126
4.6.2	Normativa de los sistemas fotovoltaicos	127
4.7	Integración de soluciones para IoT en el presente proyecto.....	127
4.8	Diseño de placas en CAD Electrónico	128
4.8.1	Consideraciones para la placa de la micro estación meteorológica (MEM)	129
4.8.2	Consideraciones para la placa de la estación de información meteorológica (EIM)	130
4.9	Diseño de las estructuras en CAD 3D	132
4.9.1	Consideraciones físicas para una Estación Meteorológica completa	132

4.9.2	Consideraciones para la estructura de la micro estación meteorológica (MEM)	133
4.9.3	Consideraciones para la estructura de la estación de información meteorológica (EIM)	134
4.9.4	Diseño de las estaciones	134
<i>CAPÍTULO V: IMPLEMENTACIÓN DEL PROTIPO</i>		138
5.1	Presupuesto de implementación	138
5.2	Montaje del prototipo	140
5.2.1	Montaje del sistema Fotovoltaico	141
5.2.2	Montaje de Circuitos	142
5.3	Pruebas de funcionamiento y comparación con los datos con entidades a fines	144
5.3.1	Calibración de Medidas	145
5.4	Resultados	147
<i>CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</i>		150
6.1	Conclusiones	150
6.2	Recomendaciones	152
6.3	Trabajos futuros	153
<i>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</i>		155
<i>ANEXOS</i>		166

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>API's para Web</i>	29
Tabla 2. <i>Equinoccios y solsticios solares</i>	63
Tabla 3. <i>Comparación del desempeño computacional de las tarjetas de desarrollo</i>	72
Tabla 4. <i>Comparación de los periféricos de las tarjetas de desarrollo</i>	72
Tabla 5. <i>Comparación de las características eléctricas de las tarjetas de desarrollo</i>	73
Tabla 6. <i>Comparación precio de las tarjetas de desarrollo</i>	73
Tabla 7. <i>Comparación entre sensores para Temperatura, Humedad y Presión</i>	75
Tabla 8. <i>Comparación entre sensores para Radiación UV</i>	76
Tabla 9. <i>Comparación entre sensores para Iluminación</i>	77
Tabla 10. <i>Precio Sensores</i>	78
Tabla 11. <i>Características eléctricas de pantallas</i>	78
Tabla 12. <i>Características generales de pantallas</i>	79
Tabla 13. <i>Precios de pantallas</i>	79
Tabla 14. <i>Rangos de temperatura para BME280</i>	89
Tabla 15. <i>Rangos de presión para BME280</i>	90
Tabla 16. <i>Modos de medida para BH1750FVI</i>	92
Tabla 17. <i>Descripción de componentes de MEM y EIM</i>	100
Tabla 18. <i>Configuración y desempeño del sensor BME280 para monitoreo de variables meteorológicas</i>	113
Tabla 19. <i>Códigos de operación para BH1750FVI</i>	114
Tabla 20. <i>Características eléctricas de la MEM y EIM</i>	117
Tabla 21. <i>Valores de los elementos de la ISFV para MEM</i>	126
Tabla 22. <i>Valores de los elementos de la ISFV para la EIM</i>	127
Tabla 23. <i>Presupuesto electrónico para la implementación de la MEM</i>	138
Tabla 24. <i>Presupuesto electrónico para la implementación de una EIM</i>	138
Tabla 25. <i>Resumen de presupuestos de la parte electrónica</i>	139
Tabla 26. <i>Presupuesto estructural para la implementación de la MEM</i>	139
Tabla 27. <i>Presupuesto estructural para la implementación de una EIM</i>	140
Tabla 28. <i>Resumen de presupuestos de la parte estructural</i>	140

Tabla 29. <i>Resumen de presupuesto total</i>	140
Tabla 30. <i>Coeficientes de Calibración lineal</i>	147

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Componentes clave de la interacción humana con el medio ambiente. _____	1
Figura 2. Tasas (Estandarizadas ASR World) de incidencia de Cáncer en Ecuador. _____	3
Figura 3. Equipo ganador del segundo lugar Hackathon – Campus Conectado ESPE 2019 _____	4
Figura 4. Factores que influyen en la radiación UV _____	6
Figura 5. Niveles de Radiación UV en el Ecuador cada hora desde el 27/07/2019 hasta el 01/08/2019 _____	7
Figura 6. TEA Ecuador y países de la región 2010 a 2017. _____	7
Figura 7. a) iluminancia b) luminancia. _____	16
Figura 8. Espectro electromagnético del Sol. _____	17
Figura 9. Modelo de referencia Smart Cities. _____	21
Figura 10. Características de las Ciudades Inteligentes. _____	22
Figura 11. Cronología del IoT. _____	24
Figura 12. Tendencia mundial búsqueda tema "IoT" desde 2014 – 2019. _____	25
Figura 13. Interés en "IoT" por Provincia en Ecuador del 2014-2019. _____	25
Figura 14. Proyección de crecimiento poblacional y dispositivos conectados a Internet. _____	26
Figura 15. Modelo de referencia IoT. _____	28
Figura 16. Modelo Cliente- Servidor. _____	28
Figura 17. Categorías de los protocolos de IoT. _____	31
Figura 18. Esquema simplificado del protocolo NTP. _____	32
Figura 19. Funcionamiento de mDNS. _____	33
Figura 20. Topología de red LoRaWAN _____	37
Figura 21. Clases en dispositivos LoRaWAN. _____	38
Figura 22. Símbolos en diagramas entidad-relación, notación pata de gallo. _____	40
Figura 23. Ejemplo entidad – relación. _____	40
Figura 24. Diferencia entre tabla de MySQL y colección JSON. _____	42
Figura 25. Placa Spark Core v1.0 _____	44
Figura 26. Placa Intel Galileo _____	45
Figura 27. Placa Node MCU (ESP8266) _____	46

Figura 28. <i>Modulo ESP32 de Expressif</i> _____	46
Figura 29. <i>Modulo TTGO ESP32 LoRa</i> _____	47
Figura 30. <i>Arduino Nano 33 IoT</i> _____	48
Figura 31. <i>Arduino MKR WAN 1310</i> _____	49
Figura 32. <i>Componentes de un sistema fotovoltaico</i> _____	52
Figura 33. <i>Descripción gráfica de la Micro Estación Meteorológica (MEM) y las Estaciones de Información Meteorológica (EIM)</i> _____	54
Figura 34. <i>Consideraciones previas en una instalación solar fotovoltaica.</i> _____	56
Figura 35. <i>Coliseo ESPE: a) Modelo 3D en Línea. b) Modelo Conceptual. c) Fotografía</i> _____	58
Figura 36. <i>Instituto de Idiomas: a) Modelo 3D en Línea. b) Modelo Conceptual. c) Fotografía</i> _____	59
Figura 37. <i>Modelo 3D conceptual del Campus</i> _____	59
Figura 38. <i>Edificio Administrativo: a) Foto de la sombra. b) Fecha y Ubicación de la Fotografía. c) Configuración de sombras en Formit. d) Sombras del modelo Conceptual</i> _____	61
Figura 39. <i>Biblioteca: a) Foto de la sombra. b) Fecha y Ubicación de la Fotografía. c) Configuración de sombras en Formit. d) Sombras del modelo Conceptual</i> _____	62
Figura 40. <i>Laboratorios Electrónica y biotecnología:</i> _____	65
Figura 41. <i>Laboratorios Electrónica y biotecnología: Mapeo de Sombras durante un año</i> _____	65
Figura 42. <i>Mapa de sombras dentro del campus durante un año</i> _____	66
Figura 43. <i>Resultados de la Primera Pregunta de la encuesta</i> _____	68
Figura 44. <i>Resultados de la Segunda Pregunta de la encuesta</i> _____	68
Figura 45. <i>Resultados de la Tercera Pregunta de la encuesta</i> _____	68
Figura 46. <i>Resultados de la Cuarta Pregunta de la encuesta</i> _____	69
Figura 47. <i>Resultados de la Quinta Pregunta de la encuesta</i> _____	69
Figura 48. <i>Resultados de la Sexta Pregunta de la encuesta</i> _____	69
Figura 49. <i>Resultados de la Séptima Pregunta de la encuesta</i> _____	70
Figura 50. <i>Resultados de la Primera Pregunta de la encuesta</i> _____	70
Figura 51. <i>Ubicación de las Estaciones de acuerdo a las sombras y la encuesta</i> _____	71
Figura 52. <i>Respuesta espectral ML8511, en función de la longitud de onda.</i> _____	74
Figura 53. <i>Respuesta espectral GUVVA-S12SD, en función de la longitud de onda</i> _____	76
Figura 54. <i>Panel LED RGB 32x16 Fuente: (Burguess, 2019)</i> _____	79

Figura 55.	<i>Consumo de panel LED RGB 32x16 Fuente: (Burguess, 2019)</i>	80
Figura 56.	<i>Metodología para la realización de una instalación solar fotovoltaica.</i>	81
Figura 57.	<i>Diagrama de bloques general de la MEM</i>	88
Figura 58.	<i>Diagrama de bloques general de la EIM</i>	88
Figura 59.	<i>Voltaje de salida en función de mW/cm²</i>	91
Figura 60.	<i>Diagrama de bloques funcional SoC ESP32 Fuente: (Espressif Systems, 2019)</i>	93
Figura 61.	<i>Diagrama de bloques funcional MEM</i>	94
Figura 62.	<i>Diagrama de bloques funcional EIM</i>	94
Figura 63.	<i>Comunicación I2C Fuente: (NXP Semiconductors, 2014, p. 7)</i>	95
Figura 64.	<i>Comunicación SPI Fuente: (Kolban, 2018, p. 276)</i>	96
Figura 65.	<i>Diagrama de Casos de Uso de la MEM</i>	97
Figura 66.	<i>Diagrama de Casos de Uso de la EIM</i>	98
Figura 67.	<i>Diagrama de paquetes de MEM</i>	99
Figura 68.	<i>Diagrama de bloques de EIM</i>	99
Figura 69.	<i>Setup programa EIM</i>	102
Figura 70.	<i>Loop1 programa EIM</i>	102
Figura 71.	<i>Loop2 programa EIM</i>	103
Figura 72.	<i>Setup programa MEM</i>	104
Figura 73.	<i>Loop programa MEM</i>	104
Figura 74.	<i>Proceso de compresión de recursos de Servidor Embebido</i>	105
Figura 75.	<i>Diagrama de Aplicación Web</i>	106
Figura 76.	<i>Diagrama de estados de la página web</i>	108
Figura 77.	<i>Diagrama de flujo del Servidor WebSocket</i>	109
Figura 78.	<i>Diagrama de flujo del Cliente WebSocket</i>	110
Figura 79.	<i>Parámetros de configuración de Firebase</i>	112
Figura 80.	<i>Registros en Firebase Console</i>	112
Figura 81.	<i>Flujo de medición BME280 Fuente: (BOSCH Sensortech, 2019, p. 17)</i>	113
Figura 82.	<i>Flujo de medición del sensor BH1750FVI Fuente: (ROHM Semiconductor, 2019, p. 4)</i>	114
Figura 83.	<i>Dispersión de puntos entre la Radiación UV y el Índice UV</i>	116

Figura 84. <i>Medición del consumo de corriente de la MEM y EIM cada segundo</i> _____	117
Figura 85. <i>Características de los paneles fotovoltaicos</i> _____	121
Figura 86. <i>Características de la batería VRLA Gel</i> _____	122
Figura 87. <i>Parámetros técnicos para controlador de carga</i> _____	124
Figura 88. <i>Parámetros técnicos para controlador de carga</i> _____	126
Figura 89. <i>Modelo de capas para Ciudades Inteligentes en el presente proyecto</i> _____	128
Figura 90. <i>Diagrama esquemático de la MEM</i> _____	129
Figura 91. <i>Rutas de cobre de la MEM (Bottom)</i> _____	130
Figura 92. <i>Mascara de elementos de la MEM (Top)</i> _____	130
Figura 93. <i>Diagrama esquemático de la EIM</i> _____	131
Figura 94. <i>Rutas de cobre de la EIM (Bottom)</i> _____	131
Figura 95. <i>Mascara de elementos de la EIM (Top)</i> _____	131
Figura 96. <i>PCB diseñadas, elaboradas en placa de baquelita.</i> _____	132
Figura 97. <i>Renderizado de diseño MEM soporte de sistema fotovoltaico</i> _____	135
Figura 98. <i>Renderizado de diseño MEM electrónica y sensores</i> _____	135
Figura 99. <i>Infografía de uso EIM</i> _____	136
Figura 100. <i>Renderizado de diseño de EIM</i> _____	137
Figura 101. <i>Instalación del sistema fotovoltaico: a) Panel fotovoltaico de la EIM, b) Controlador de carga de la EIM, c) Baterías de la EIM, d) Panel fotovoltaico de la MEM, e) Controlador de carga y baterías de la MEM</i> _____	142
Figura 102. <i>Cajas herméticas: a) 10x10x7cm para sensores y tarjeta de desarrollo MEM. b) 20x17x10,5cm para las baterías y control de carga MEM. c) 30x20x15cm para la tarjeta de desarrollo y control de carga EIM</i> _____	143
Figura 103. <i>Montaje de circuitos: a) EIM. b) MEM (Caja). c) MEM (Tapa)</i> _____	144
Figura 104. <i>Datos obtenidos en un durante 24h con la MEM y la Secretaría de Ambiente DMQ: a) Temperatura, b) Presión, c) Humedad Relativa, d) Índice UV, e) Radiación UV, f) Iluminación</i> _____	145
Figura 105. <i>Comparación de datos y aproximación lineal de las mediciones de la MEM y datos de la Secretaría de Ambiente DMQ: a) Temperatura, b) Humedad Relativa, c) Radiación UV</i> _____	146
Figura 106. <i>Errores Absolutos de las mediciones entre la MEM y la Secretaría de Ambiente DMQ: a) Temperatura, b) Humedad Relativa, c) Radiación UV</i> _____	147

Figura 107. Errores Relativos de las mediciones entre la MEM y la Secretaría de Ambiente DMQ: a) Temperatura, b) Humedad Relativa, c) Radiación UV 148

Figura 108. Errores Absolutos de las mediciones entre la MEM y la Secretaría de Ambiente DMQ después de la calibración: a) Temperatura, b) Humedad Relativa 148

Figura 109. Errores Relativos de las mediciones entre la MEM y la Secretaría de Ambiente DMQ después de la calibración: a) Temperatura, b) Humedad Relativa 149

LISTADO DE ABREVIATURAS

ADC	Convertor analógico digital (en inglés, "Analog to Digital Converter")
API	Interfaz de programación de aplicaciones (en inglés, "Application Programming Interface")
CAD	Diseño asistido por computador (en inglés, "Computer-aided Design")
CSS	Hojas de estilo en cascada (en inglés, "Cascading Style Sheets")
DAC	Convertor digital analógico (en inglés, "Digital to Analog Converter")
DNS	Sistema de Nombres de Dominio (en inglés, "Domain Name Server")
ECAD	Diseño eléctrico y electrónico asistido por computador (en inglés, "Electronic and Electrical Computer-aided Design")
ECH	Empresa de Desarrollo del Centro Histórico
EIM	Estación de Información Meteorológica
ER	Modelo de entidad-relación en bases de datos
GZIP	Formato GNU ZIP
HEX	Hexadecimal
HTML	Lenguaje de marcas de hipertexto (en inglés, "HyperText Markup Language")
HTTP	Protocolo de transferencia de hipertexto (en inglés, "Hypertext Transfer Protocol")
I2C	Circuito Inter-integrado (en inglés, "Inter-Integrated Circuit")
ICMP	Protocolo de control de mensajes de Internet (en inglés, "Internet Control Message Protocol")
IDE	Entorno de desarrollo integrado (en inglés, "Integrated Development Environment")
IEC	Comisión electrotécnica internacional (en inglés, "International Electrotechnical Commission")
IEEE	Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (en inglés, "Institute of Electrical and Electronics Engineers")
IGMP	Protocolo de manejo de grupos en Internet (en inglés, "Internet Group Management Protocol")
IIR	Respuesta infinita al impulso (en inglés, "Infinite Impulse Response")
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
INOCAR	Instituto Oceanográfico de la Armada
IoT	Internet de las cosas o Internet de los objetos (en inglés, "Internet of things")
IP	Protocolo de Internet (en inglés, "Internet Protocol")
ISFV	Instalación Solar Fotovoltaica
ISFVA	Instalación Solar Fotovoltaica Aislada
UIT (ITU)	Unión Internacional de Telecomunicaciones
JSON	Notación de objeto de JavaScript (en inglés, "Javascript Object Notation")
LED	Diodo emisor de luz (en inglés, "Light-Emitting Diode")
LoRa	Largo Alcance (en inglés, "Long Range")
LPWAN	Red de baja potencia y área amplia (en inglés, "Low-power Wide Area Network")
mDNS	Sistema de Nombres de Dominio Multicast (en inglés, "Multicast Domain Name Server")

MEM	Micro Estación Meteorológica
MPPT	Seguidor de punto de máxima potencia (en inglés, "Maximum Power Point Tracking")
NEC	Norma Ecuatoriana de Construcción
NTP	Protocolo de tiempo de red (en inglés, "Network Time Protocol")
OSI	Modelo de interconexión de sistemas abiertos (en inglés, "Open System Interconnection")
PCB	Placa de circuito impreso (en inglés, "Printed Circuit Board")
PWM	Modulación de ancho de pulso (en inglés, "Pulse width modulation")
REMMAQ	Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito
RFID	Identificación por radiofrecuencia (en inglés, "Radio Frequency Identification")
RNA	Redes Neuronales Artificiales
RGB	Modelo de color rojo, azul y verde (en inglés, "Red Green and Blue")
RISC	Reduced Instruction Set Computer
RMS	Valor cuadrático medio (en inglés, "Root Mean Square")
SDK	Kit de desarrollo de software (en inglés, "Software Development Kit")
SoC	Sistema en Chip (en inglés, "System on a chip")
SPI	Interfaz de periféricos serie (en inglés, "Serial Peripheral Interface")
SQL	Lenguaje de consulta estructurada (en inglés, "Structured Query Language")
TCP	Protocolo de control de transmisión (en inglés, "Transmission Control Protocol")
TEA	Tasa de actividad emprendedora
TIC	Tecnologías de la Información y la Comunicación
UDP	Protocolo de datagramas de usuario (en inglés, "User Datagram Protocol")
UV	Ultra Violeta
VAE	Valor Agregado Ecuatoriano
WHO	Organización Mundial de la Salud u OMS (en inglés, "World Health Organization")
WLAN	Red de área local inalámbrica (en inglés, "Wireless Local Area Network")
OMM (WMO)	Organización Meteorológica Mundial (en inglés, "World Meteorological Organization")

RESUMEN

En este proyecto se desarrolló un sistema de información automatizada (urbótica) sobre variables meteorológicas como una aplicación de Ciudades Inteligentes (Smart Cities) dentro de los ámbitos de “Smart living” y “Smart Environment”. Se realizó la integración de diferentes conceptos y tecnologías en dos tipos de dispositivos: una Micro Estación Meteorológica (MEM) y una Estación De Información Meteorológica (EIM). El hardware principal es un sistema en chip (SoC) ESP32, la comunicación entre estaciones se realiza a través de un módulo LoRa en una red LPWAN y emplea WiFi para registrar los datos a la nube de Firebase.

La MEM está a cargo de la medición de variables meteorológicas con ayuda de sensores de temperatura, presión atmosférica, humedad, iluminación y radiación UV. Mientras que la EIM recibe dichos valores y los muestra en un panel LED, la estación se complementa con un servidor embebido (local) en base a una pila TCP/IP para sistemas embebidos lwIP (light weight IP), y una aplicación web que muestra históricos e información en tiempo real. Además, se utilizaron sistemas fotovoltaicos aislados para asegurar que el funcionamiento de las estaciones sea autosustentable y permita que la ubicación de las mismas sea flexible en el diseño, considerándolo un elemento de una Ciudad Inteligente (Smart City) o en este caso como un elemento de Smart University en la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.

PALABRAS CLAVE.-

- **CIUDADES INTELIGENTES**
- **VARIABLES METEOROLÓGICAS**
- **LORA32**
- **TCP/IP PARA SISTEMAS EMBEBIDOS**
- **AUTOSUSTENTABILIDAD**

ABSTRACT

In this project an automated (urbotic) information system on meteorological variables was developed as an application for Smart Cities within the areas of "Smart living" and "Smart Environment". The integration of different concepts and technologies was carried out in two types of devices: A Micro Meteorological Station (MEM) and a Meteorological Information Station (EIM). The main hardware is an ESP32 system on chip (SoC), the inter-station communication is done through a LoRa module in a LPWAN network and uses WiFi to register the data to the Firebase cloud.

The MEM is in charge of measuring meteorological variables with the help of temperature, atmospheric pressure, humidity, lighting and UV radiation sensors. While the EIM receives these values and displays them on an LED panel, the station is complemented by an embedded (local) server based on a TCP / IP stack for embedded devices lwIP (light weight IP), and also a Web application that shows historical and real-time information. Moreover, isolated photovoltaic systems were used to ensure self-sustaining operation of the stations and for a flexible design, considering it an element of a Smart City or in this case as an element of Smart University at the University of the Armed Forces - ESPE.

KEY WORDS.-

- **SMART CITIES**
- **METEROLOGICAL VARIABLES**
- **LORA32**
- **TCP/IP FOR EMBEDDED SYSTEMS**
- **SELF SUSTAINABILITY**

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

Entidades como la Organización Meteorológica Mundial (WMO, por sus siglas en inglés) recopilan datos meteorológicos internacionales para emitir informes anuales denominados Declaración sobre el Estado del Clima Global o Statement on the State of the Global Climate, en inglés donde detallan las tendencias y consecuencias del cambio climático, producido por la actividad humana en determinadas zonas, la Figura 1 muestra una relación entre el cambio climático y las actividades que resultan en emisión de gases de efecto invernadero.

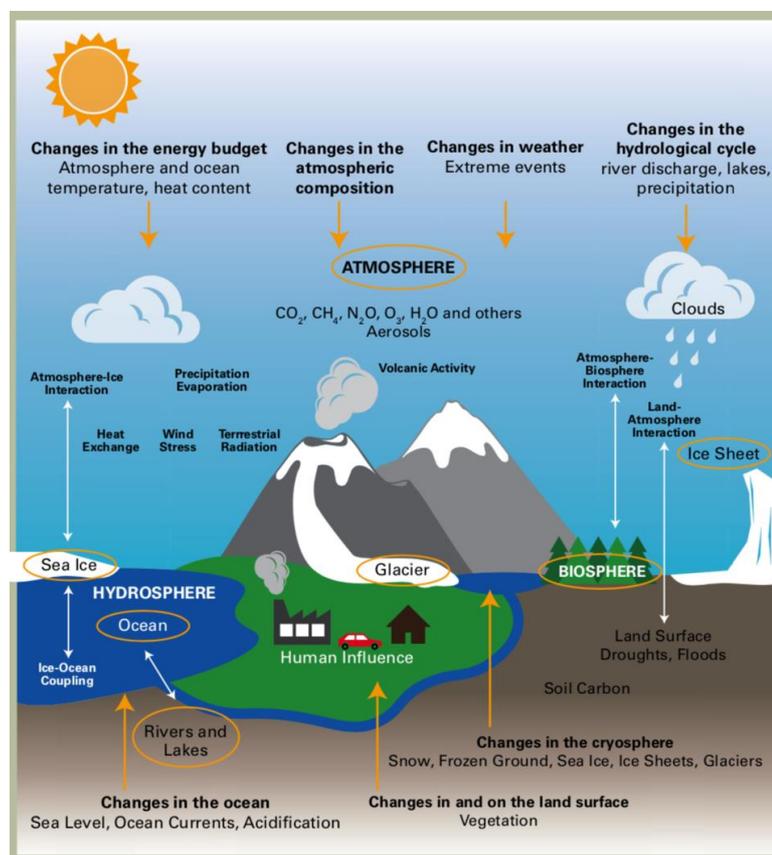


Figura 1. Componentes clave de la interacción humana con el medio ambiente.

Fuente: (World Meteorological Organization, 2019)

En el informe de 2018 se detalla que el planeta Tierra ha experimentado las temperaturas más altas de los últimos cuatro años, siendo en estos últimos años, entre 2015 y 2018, los más altos registrados (World Meteorological Organization, 2019). Información como esta despierta la conciencia ante el cambio climático, como una búsqueda de mejora en la planificación diaria de las actividades de los ciudadanos y para confort de los mismos, dentro de las variables meteorológicas una muy importante de notar es la radiación ultravioleta (UV).

Es así que en los últimos años se han implementado diferentes proyectos enfocados a informar a la ciudadanía de las variables ambientales como nivel de radiación UV, por ejemplo, a través de solmáforos, que se pueden observar en algunos puntos de la ciudad Quito (Secretaría de Ambiente del Municipio del Distrito Metropolitano Quito, 2016).

Por otro lado, los estudios sobre Fotocarcinogénesis dictan que, la radiación ultravioleta A (UV-A) con una longitud de onda de 320-400 nm y ultravioleta B (UV-B) con una longitud de onda en el orden de 280-320 nm son responsables de los tipos de cáncer inducidos por la exposición a radiación solar. Esta radiación es absorbida por la piel y consecuentemente causa la mutación del ADN (Paz y Miño & López, 2014).

En el último estudio de Epidemiología del cáncer en la capital de Ecuador, publicado por SOLCA Quito, en 2014 con base en el Registro Nacional de Tumores (RNT), se muestra las tendencias de los casos de carcinoma de piel melanoma y no melanoma entre los años de 1986 – 2010. Se indica que la tasa incidencia de casos de cáncer de piel entre 1986 – 1990 habían sido de 21 en 100 000 habitantes y en 2006-2010 se había elevado a 33 por cada 100 000. Pero se destaca que el ritmo de crecimiento en los años desde 2001 a 2010 fue de apenas un 0.3%. Esta estabilización del crecimiento en registro de casos se atribuye a “la conciencia pública de la protección frente a rayos de sol” (Sociedad de Lucha Contra el Cáncer, 2014).

Esta estabilización, como es de suponer, no significa que el riesgo haya desaparecido, o sea leve, sino que la concientización a la población, es buen método de prevención del cáncer

a causa de exposición a radiación UV. Las poblaciones con mayor incidencia de casos en Ecuador se muestran en la Figura 2.

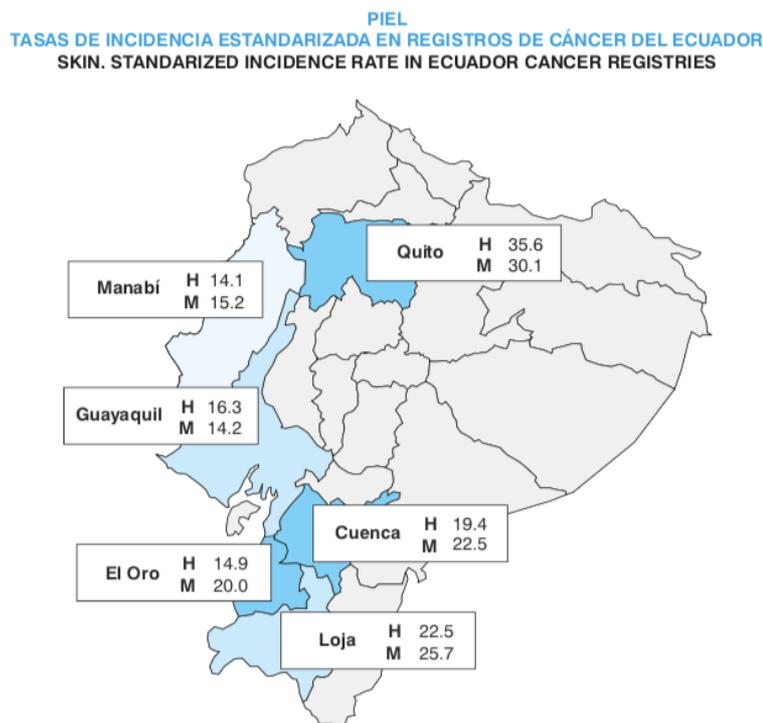


Figura 2. Tasas (Estandarizadas ASR World) de incidencia de Cáncer en Ecuador.

Fuente: (Sociedad de Lucha Contra el Cáncer, 2014)

En la Figura 2 Quito, Loja y Cuenca muestran porcentajes de incidencia de cáncer muy superiores respecto de otras provincias del Ecuador.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) (2019), recomienda ciertas medidas de protección diaria contra la radiación UV:

- Limitar la exposición al sol de mediodía.
- Monitorear el índice de radiación UV.
- Usar la sombra de forma inteligente.
- Usar ropa protectora, como gafas con protección UV, gorra o sombreros.
- Usar protector solar con SPF 30 o mayor y re aplicar cada dos horas.
- Evitar el uso de camas de bronceado.

En Julio de 2019, el grupo “ESPertos”, obtuvieron el segundo lugar en el Hackathon Organizado por IEEE Rama Estudiantil ESPE, Electroteam y MINTEL; donde durante cuatro horas se desarrolló una idea y prototipo de solución a la problemática “Medición de niveles de radiación UV en el campus”. De este equipo dos de los tres miembros forman parte de este proyecto de titulación, en el que se busca aportar con la implementación de un sistema urbótico con una temática similar al presentado en el concurso.



Figura 3. Equipo ganador del segundo lugar Hackathon –
Campus Conectado ESPE 2019

Fuente: Facebook Oficial de Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE,
Disponible en:
<https://www.facebook.com/ESPE.U/photos/a.10151251622919990/10151251623354990/?type=3&theater>

Para aclarar, la Urbótica es un término derivado de la automatización doméstica (domótica), y se encarga de los sistemas automatizados, al emplear como herramienta el IoT (Internet de las Cosas), con la característica de que se extiende a una dimensión urbana, es decir cubre necesidades de monitoreo y automatización en ciudades enteras. (Barberis, 2011)

Así conceptos como Smart Cities y Smart Universities surgen a partir de los avances tecnológicos que envuelven la urbótica, entre ellos mejorar la administración de fuentes de

energía, seguridad, y bienestar de los habitantes, así como de los usuarios de una urbe (Calderón Castro, 2016).

1.2 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

VARIABLES como la presión, temperatura, humedad, iluminación son útiles para describir un perfil histórico del clima en una localidad, analizar el aprovechamiento energético y realizar una planificación de actividades. Por otro lado, la información a la ciudadanía es importante para concientizar a la población sobre el cambio climático y contribuir con planes de mitigación de dicho problema a través de la transferencia tecnológica y participación ciudadana, como se detalla en la Estructura de la Estrategia Nacional del Cambio Climático en Ecuador 2012- 2025. De las variables anteriores cabe recalcar la importancia de monitorear la radiación UV, que como se explicó, es una de las causas principales en el cáncer de la piel. Frente a este hecho se ha tomado las sugerencias de la Organización Mundial de la Salud 2019, que en sus artículos sobre protección solar se destaca información sobre que la radiación UV depende de:

- **Altura del sol:** Mientras más alto se encuentre el sol en el cielo, existe más radiación UV, es decir que la máxima radiación UV se da al mediodía.
- **Latitud:** Hay mayores niveles de radiación cerca del ecuador.
- **Cobertura de nubes:** La cantidad de nubes en el firmamento puede reducir la Radiación, aunque depende de otros factores.
- **Altitud:** La radiación aumenta si la altura respecto al mar es mayor, debido a atmosferas finas
- **Ozono:** Dicha capa varía en el tiempo y absorbe parte de la radiación UV.
- **Reflexión:** Los elementos alrededor de un individuo pueden reflejar en cierto porcentaje la radiación UV. (Ver Figura 4)

Actualmente en el Ecuador, se puede obtener el nivel de radiación UV, desde la página web del INAMHI y un ejemplo se puede ver en la Figura 5, donde se muestra un promedio por hora de los índices UV, sin embargo, estos datos pertenecen a un lugar distinto al cantón Sangolquí, y lo mismo ocurre con otras ubicaciones de la página mencionada.

Es por estas razones que es útil colocar estaciones de medición de variables meteorológicas que incluyan sensores UV, en las áreas de interés. El Ecuador es un país privilegiado en temas de energía solar debido a que su ubicación se encuentra cerca a la latitud 0 (ubicada entre los paralelos 01°30' N y 03°23.5' S) (INOCAR, 2012). Monitorear el comportamiento de las variables solares puede no solo servir a fines de prevención del cáncer de piel, sino al estudio de aprovechamiento de fuentes alternativas, en lo que respecta a energía fotovoltaica, a través del registro de grandes cantidades de datos (big data) (Corporación para la Investigación Energética, 2008).

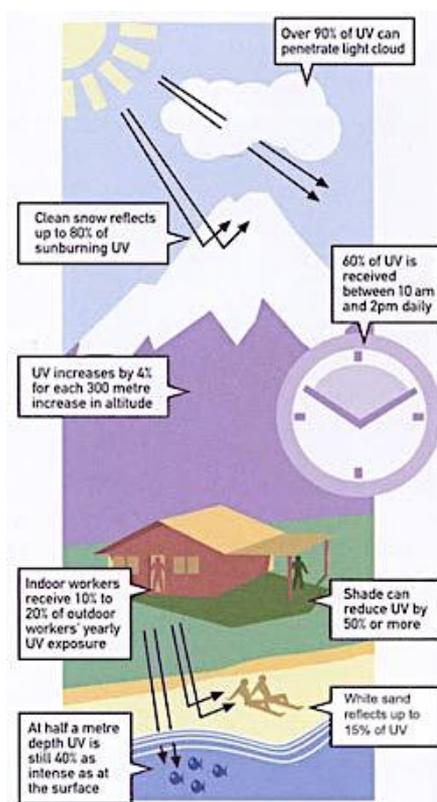


Figura 4. Factores que influyen en la radiación UV

Fuente: (OMS, 2019)

[M0003 - IZOBAMBA] --- [SIERRA - PICHINCHA - MEJIA - CUTUGLAHUA]													
Datos Históricos													
Datos históricos de índice UV --- Promedios de 1 hora													
Fecha / hora	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
2019-07-27									1	1	1	0	0
2019-07-28	1	3	4	6	9	6	7	8	3	1	0	0	0
2019-07-29	1	3	6	10	12	13	11	9	6	3	1	0	0
2019-07-30	1	3	7	10	12	13	12	9	4	2	0	0	0
2019-07-31	1	3	7	9	9	10	8	9	6	2	1	0	0
2019-08-1	1	3	6	10	10	7	2	3					

Figura 5. Niveles de Radiación UV en el Ecuador cada hora desde el 27/07/2019 hasta el 01/08/2019

Fuente: (INAMHI, 2019)

Frente a una inminente oleada de cambios tecnológicos en el contexto de automatización doméstica temas como Domótica, Inmótica y Urbótica son cada vez más comunes, y el desarrollo de sistemas tecnológicos en el sector privado son oportunidad para que el Ecuador muestre su capacidad Técnico – Científica, así como el desarrollo de emprendimientos y generación de empleo. Según se detalla en ESPAE - ESPOL (2018) en el estudio para Global Entrepreneurship Monitor (GEM), desde 2012 a 2017 Ecuador ha liderado con la Tasa de Emprendimiento Temprano - TEA¹ más alta de la región.

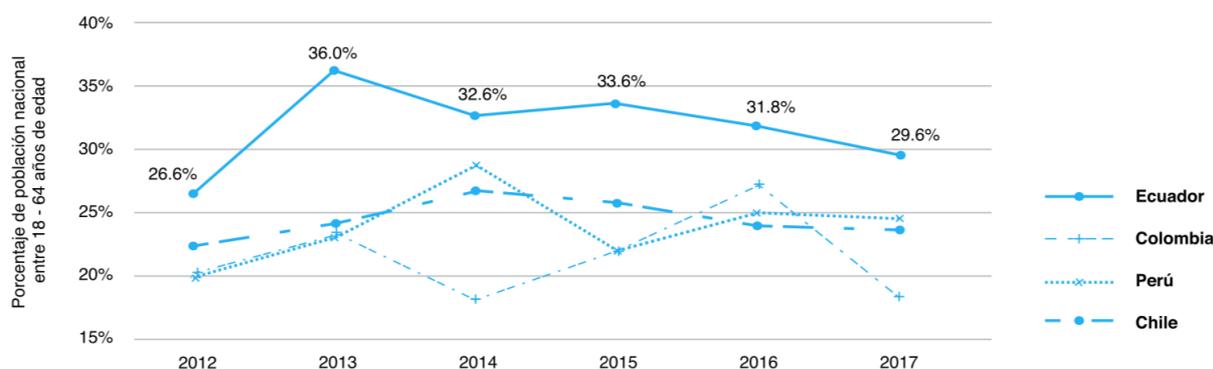


Figura 6. TEA Ecuador y países de la región 2010 a 2017.

Fuente: (ESPAE - ESPOL, 2018)

¹ “La Tasa de Emprendimiento Temprano - TEA es una medida de la actividad emprendedora individual y como tal responde a las decisiones de emprender.” (ESPAE - ESPOL, 2018)

Sin embargo, aunque los datos afirman el potencial de emprendimiento, incluso sobre otros países de la región, generalmente se toma en cuantos emprendimientos tradicionales y son pocos los basados en tecnología, que es lo que se busca potenciar.

Actualmente muchos campus universitarios, no cuentan con medios de información ciudadana automatizada. Hay que tomar en cuenta que la información ciudadana es más útil cuando se tienen conocimiento de más variables, además de que tener más variables ayuda a establecer relaciones a través del análisis de los datos históricos de estas.

Se conoce de sistemas IoT implementados en la Universidad, pero no existen aplicaciones con base en fuentes alternativas enfocadas a la urbótica en el marco de información ciudadana automatizada, en este caso, sobre la radiación UV y variables meteorológicas afines.

La Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE es un lugar ideal para el monitoreo e implementación de un sistema piloto para advertir a la comunidad universitaria de los niveles de radiación UV, pues se lo puede considerar como una pequeña urbe.

1.3 ALCANCE

En el presente proyecto de titulación se realiza el diseño e implementación de un sistema para ciudades inteligentes (urbótica) autosustentable para la medición, registro y notificación de variables meteorológicas en la comunidad universitaria, utilizando funciones IoT y LPWAN para el monitoreo, la configuración, intercomunicación y diagnóstico de cada dispositivo a ser implementado. Los dispositivos desarrollados son un total de tres: una Micro Estación Meteorológica y dos Estaciones de Información Meteorológica.

Los dos tipos de estaciones tienen las siguientes características:

- **La Micro Estación Meteorológica (MEM):**

Dedicada a la medición de los niveles de radiación UV, temperatura, presión, humedad e iluminación. Debe tener la capacidad de comunicarse a larga distancia para transmitir dichas medidas a estaciones de información ciudadana. La comunicación a larga distancia de baja potencia (LPWAN) tiene el objetivo de desvincular (en su mayoría) al sistema de la red WiFi del campus debido a problemas de conexión presentes en la misma, que se ha podido evidenciar frecuentemente.

Tendrá la capacidad de conectarse a Internet que permitirá el almacenamiento de los datos en una base de datos local (LAN) o en la nube (WWW) para futuros proyectos relacionados con las variables medidas (estudios ambientales y para la cosecha energética “energy harvesting”) además de estudios en el campo de “Smart Cities”.

- **Las Estaciones de Información Meteorológica (EIM):**

Recibirán los datos meteorológicos de la micro estación directamente (y así evitar los problemas de conexión con la red WiFi del campus). La notificación será provista a través de paneles LED RGB y contarán con un controlador diseñado por los autores para gestionar de mejor manera las condiciones energéticas del panel informativo también evitar la compra innecesaria de hardware y software Como se ha mencionado anteriormente este proyecto está enfocado en el marco de *Información ciudadana automatizada* que forma parte de los servicios que ofrece la urbótica según afirma (Calderón Castro, 2016).

Se ha realizado un estudio de sombras y de afluencia de personas para determinar los lugares más adecuados y pertinentes donde se puede colocar los dispositivos dentro del campus.

Las tarjetas de desarrollo a ser usados han sido seleccionados de acuerdo a criterios como: bajo consumo energético, arquitectura de microcontrolador y compatibilidad con protocolos de IoT y LPWAN. Dichos criterios también están enfocados para que este sistema

tenga la capacidad de compartir los datos de las variables medidas con futuros proyectos relacionados al tema.

En el caso de los sensores se realizó el acondicionamiento y calibración en los sensores a través de cálculos comparándolos con referencias semejantes.

Los elementos electrónicos tales como sensores, paneles, controladores y circuitos electrónicos, han sido montados en una estructura modelada en 3D con la ayuda de herramientas CAD. La disposición de los elementos en la estructura se realizó en función a la restricción de las condiciones ambientales menos favorables para tener un funcionamiento óptimo ante condiciones críticas.

La alimentación del sistema se realiza con fuentes alternativas para aportar mayormente con uso de energías limpias y permita ser distribuidos estratégicamente. Para determinar el tipo de alimentación se ha realizado un análisis energético de la Micro Estación Meteorológica y la Estación de Información Meteorológica por separado.

Además, dichos dispositivos disponen de una aplicación web como Interfaz Humano Máquina (HMI) alojada en un servidor en cada estación, empleando métodos de compresión y optimización de memoria para lograr almacenar dentro de la memoria del dispositivo. También se usó métodos de optimización energética, a nivel de software (coste computacional) y de hardware (tecnologías “Low Power”).

Finalmente se usará bases de datos no relacionales, por sus ventajas de expansión, que permita relacionar los datos adquiridos en la Micro Estación Meteorológica con la base de datos del Campus y compartirlo mediante la plataforma vigente a toda la comunidad universitaria.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general

Diseñar e Implementar un sistema para aplicación de ciudades inteligentes (Smart Cities) en el campus de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, para informar a la comunidad universitaria los valores de variables meteorológicas, principalmente el índice de radiación UV.

1.4.2 Objetivos específicos

- Identificar la localización de áreas con menor sombra y de mayor afluencia de personas, para la instalación de las estaciones del sistema urbótico, dedicado a la información ciudadana.
- Comparar tarjetas de desarrollo con micro controlador de 32 bits, empleando como criterios el bajo consumo energético, la compatibilidad con protocolos de IoT y LPWAN.
- Diseñar y construir una estructura de protección para adecuar los circuitos, priorizando la distribución de los sensores, paneles informativos y tomando en cuenta condiciones ambientales y alimentación.
- Realizar el análisis energético de la Micro Estación Meteorológica y la Estación de Información Meteorológica para implementar fuentes alternativas de energía.
- Implementar servicios web, usando API's de terceros dentro de la tarjeta de desarrollo IoT para: monitorear, configurar, diagnosticar y registrar variables en una base de datos local o nube.

CAPÍTULO II: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 Meteorología

Este proyecto se enfoca en temas relacionados a la meteorología y a la notificación de algunas de sus variables. La meteorología es “la ciencia encargada del estudio de la atmósfera, de sus propiedades y de sus fenómenos [...]” (Rodríguez, Benito, & Portela, 2004)

Este proyecto, se centrará en la medición de cinco variables meteorológicas:

2.1.1 Temperatura

Es una de las variables más comunes en la medida de estaciones meteorológicas. De hecho, es una de las magnitudes que se presenta con mayor relevancia en diferentes medios de comunicación. Físicamente, “la temperatura es una magnitud relacionada con la rapidez del movimiento de las partículas que constituyen la materia. Cuanta mayor agitación presente éstas, mayor será la temperatura.” (Rodríguez, Benito, & Portela, 2004).

Según mediciones de la estación *Izobamba* (sur de Quito) del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) en su anuario meteorológico 2017-2018, el Ecuador tiene una media anual de 12.4°C (INAMHI, 2017).

La medición de la temperatura puede ser realizado con ayuda de radiómetros que trabajan en el rango infrarrojo del espectro electromagnético, o con termómetros que funcionan al ser llevados a la misma temperatura que el objeto a medir, los termómetros trabajan con materiales cuyas propiedades físicas sean función de la temperatura. Las propiedades más utilizadas son la expansión térmica o el cambio de la resistencia eléctrica (World Meteorological Organization, 2016).

Hay que tomar en cuenta que los termómetros en las estaciones del INAMHI, se encuentran ubicados al aire libre y protegido de la radiación solar directa, para evitar la medición errónea de la temperatura (INAMHI, 2017).

2.1.2 Presión Atmosférica

La presión atmosférica hace referencia al peso o fuerza que ejerce el aire sobre los objetos en la superficie terrestre. La gravedad que ejerce la tierra sobre el aire es la causante de la presión y por esta razón, la presión del aire cambia con la altura. Al aumentar la altura, disminuye la masa de aire y por lo tanto disminuye la presión. Su unidad de medida es el Pascal (*Pa*) (Rodríguez, Benito, & Portela, 2004), aunque en estaciones meteorológicas del INAMHI se utiliza como unidad de medida los hectopascales (*hPa*). (INAMHI, 2019)

Para la Micro Estación Meteorológica, la WMO recomienda también determinar la tendencia de presiones que por lo general se lo realiza durante 3 horas. Esta tendencia se compone de 2 partes, el cambio de presión y la característica de presión. El cambio de presión se refiere a la diferencia neta entre 2 lecturas de presión durante cierto intervalo de tiempo. La característica de la presión se refiere a dar una indicación cualitativa de como se ha presentado el cambio durante ese intervalo, por ejemplo, se puede decir que la presión, ha disminuido, o aumentado. (World Meteorological Organization, 2016).

Según los datos de la Secretaría de Ambiente DMQ tomados en la estación de “Los Chillos”, el promedio de presión atmosférica en el 2018 fue de $759.44hPa$ (Secretaría de Ambiente del Municipio del Distrito Metropolitano Quito, 2019)

Para la medición de la presión atmosférica se utiliza comúnmente barómetros de mercurio, electrónicos aneroides o hipsómetros; los cuales deben ser calibrados con ayuda de un barómetro estándar en funcionamiento usado como patrón. Las lecturas de presión no deben ser afectadas por la temperatura, sin embargo, para mejorar esta lectura es recomendable aplicar correcciones de temperatura o ubicar al barómetro en un lugar donde la temperatura sea estable y constante (World Meteorological Organization, 2016).

2.1.3 Humedad

Uno de los componentes más importantes de la atmósfera es el agua, el cual, dependiendo de la temperatura y presión, puede manifestarse en sus tres estados: Sólido, Líquido y Gaseoso; su presencia en forma de vapor y su cantidad provocan que el aire posea humedad en cierta medida y dependerá de factores adicionales, tales como la ubicación geográfica, elementos cercanos, clima, etc. (Rodríguez, Benito, & Portela, 2004).

Las cantidades más comunes utilizadas para la medición de la humedad relativa son:

- *Relación de mezcla (r): La relación entre la masa de vapor de agua y la masa de aire seco.*
- *Humedad específica (q): La relación entre la masa de vapor de agua y la masa de aire húmedo.*
- *Presión de vapor (e'): La presión parcial del vapor de agua en el aire*
- *Presiones de vapor de saturación (e'_w) y (e'_i): Presiones de vapor en el aire en equilibrio con la superficie del agua y el hielo, respectivamente.*
- *Humedad relativa (U): La relación en porcentaje de la presión de vapor observada a la presión de vapor de saturación con respecto al agua a la misma temperatura y presión.*

(World Meteorological Organization, 2016)

De ellas, la cantidad más utilizada para mediciones en estaciones meteorológicas es la Humedad relativa (INAMHI, 2019), la cual se presenta en porcentaje (%), donde el 100% indica que el aire ya no puede albergar a más vapor de agua, a partir de ese momento, todo vapor se convierte en agua líquida o en cristalinos de hielo (Rodríguez, Benito, & Portela, 2004). Entre el 2017 y 2018, el promedio anual de la humedad relativa en la estación IZOBAMBA es del 79% (INAMHI, 2017).

Cualquier instrumento que pueda ser usado para la medición de la humedad en el ambiente es llamado higrómetro. Las recomendaciones para la ubicación de esos sensores son similares a las del termómetro, una de ellas es la protección de la radiación solar directa. Estos instrumentos pueden basarse en diferentes principios físicos, entre ellos están:

- Higrometría gravimétrica
- Métodos de condensación
- El método psicrométrico
- Métodos de absorción
- Absorción de radiación electromagnética por el vapor de agua

(World Meteorological Organization, 2016)

2.1.4 Iluminación

Es una cantidad que anteriormente era medido por un observador humano, y puede ser útil en algunas aplicaciones. Sin embargo, estas medidas pueden ser afectadas por “factores físicos o subjetivos”, este último también considera errores humanos y diferentes criterios entre distintos observadores. (World Meteorological Organization, 2016)

Dos de sus características importantes son

- *La iluminancia, se define como el flujo luminoso que incide sobre una superficie. Su unidad de medida es el lux. (Ver Figura 8 .a))*
- *La luminancia, se llama luminancia o brillo fotométrico a la luz procedente de los objetos. (Ver Figura 8 .b))*

(CSIC, 2010)



Figura 7. a) iluminancia b) luminancia.

Fuente: (Sanjuán, 2014)

2.1.5 Radiación UV

Es parte de la radiación solar. Esta radiación son ondas electromagnéticas que viajan desde el sol a la superficie terrestre que transportan cierta energía. Dependiendo de cuanta energía transporten, se pueden clasificar desde las menos energéticas que son las ondas de radio, seguidas por las ondas infrarrojas, luego por la luz visible y siendo las más energéticas, la radiación Ultravioleta (UV) (Rodríguez, Benito, & Portela, 2004). Esta última tienen una longitud de onda inferior a los 400nm y por lo general se dividen en 3 sub rangos: UV-A: 315-400 nm, UV-B: 280-315 nm y UV-C: 100-280 nm (World Meteorological Organization, 2016).

El espectro electromagnético proveniente del sol, cuya temperatura es de 6000 °K, se representa en la Figura 8, donde se puede observar que emite mayormente ondas de luz visible (44%) y ondas infrarrojas (48%), y el resto está formado por la radiación UV (7%), siendo estas últimas las que más energía poseen y pueden ocasionar daños en la vida terrestre (Rodríguez, Benito, & Portela, 2004).

Las medidas de la radiación pueden ser utilizadas para varias aplicaciones, entre las cuales están:

- *Estudios de la transformación de la energía dentro del sistema Tierra-atmósfera y su variación en el tiempo y el espacio*
- *Análisis de las propiedades y la distribución de la atmósfera con respecto a sus componentes, tales como aerosoles, vapor de agua, ozono, etc.*

- *Estudios de la distribución y las variaciones de la radiación entrante, saliente y neta*
- *Satisfacción de las necesidades y actividades biológicas, médicas, agrícolas, arquitectónicas e industriales con respecto a la radiación*
- *Verificación de mediciones y algoritmos de radiación satelital*

(World Meteorological Organization, 2016)

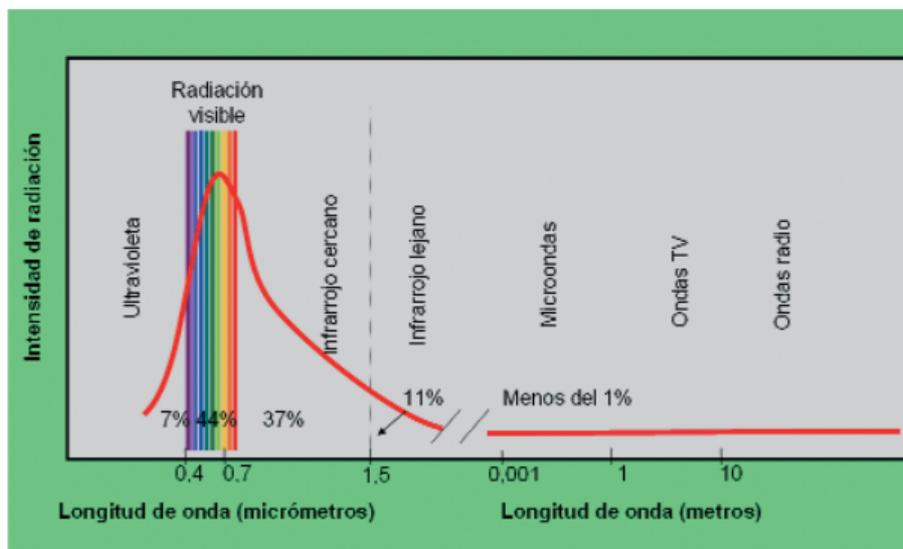


Figura 8. Espectro electromagnético del Sol.

Fuente: (Rodríguez, Benito, & Portela, 2004)

Para la medición de la radiación UV, se pueden utilizar dos instrumentos comunes

- *Radiómetro: Es utilizado para medir la radiación solar, existen diferentes clases de radiómetros dependiendo del tipo de radiación que se va a medir.*
- *Piranómetro: Sirve para la medición de la radiación difusa o reflejada, y global, la cual incluye además de la radiación difusa, la radiación directa proveniente del sol.*

(Pérez D. , s.f.)

2.1.5.1 Efectos de la radiación UV

Además de los efectos sobre la piel mencionados en la **sección 1.2**, la radiación UV también afecta a:

- Los ojos: Pudiendo ocasionar “fotoqueratitis (inflamación de la córnea) y fotoconjuntivitis (inflamación de la conjuntiva)”, dichas afecciones pueden desaparecer por completo teniendo los cuidados pertinentes. Sin embargo, hay efectos mucho más crónicos para la salud: Las cataratas, la Pterigión y el Carcinoma epidermoide de la córnea o de la conjuntiva, esta última siendo el segundo tumor más frecuente del ojo (Pérez M. , 2014).
- La vida marina: Hace tiempo, no se tomaba en cuenta los efectos de la radiación UV en la vida marina, debido a que se suponía que los primeros centímetros de agua absorbían toda la radiación, sin embargo, la realidad es que la radiación UV tiene una penetración más profunda y afecta a cadenas alimentarias de algunos ecosistemas marinos a varios metros de profundidad, perjudicando, por ejemplo, la producción pesquera (Pérez M. , 2014).

2.2 Fuentes de información meteorológica en Ecuador

Entre las principales instituciones meteorológicas en el Ecuador, se encuentran las siguientes:

- *INAMHI: Es el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, fue creado por Ley, como una necesidad y un derecho fundamental de la comunidad, con capacidad y la obligación de suministrar información vital sobre el tiempo, el clima y los recursos hídricos del pasado, presente y futuro, que necesita conocer el país para la protección de la vida humana y los bienes materiales. Y forma parte de la World Meteorological Organization (WMO) (INAMHI, 2019).*

- *REMMAQ: es la Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito, se originó en el préstamo del Banco Interamericano de Desarrollo otorgado al Gobierno de la República del Ecuador el 13 de octubre de 1994, donde se incluyó la provisión de los bienes y servicios para la Red. La puesta en marcha definitiva de la Red estuvo a cargo de una unidad especial creada por la Empresa de Desarrollo del Centro Histórico (ECH) el 5 de noviembre del 2002.*

Desde el 1 de enero del 2004 hasta 31 de octubre del 2010, la REMMAQ formó parte de CORPAIRE. Actualmente la REMMAQ formar parte de la Secretaría de Ambiente del Municipio de Quito desde el 01 de noviembre del 2010 (Secretaría de Ambiente Quito, 2019).

- *INOCAR (2019): es el Instituto Oceanográfico de la Armada, y cumple las siguientes funciones:*
 - *Realizar, dirigir, coordinar y controlar todos los trabajos de monitoreo y exploración oceanográfica, geofísica y de las ciencias del medio ambiente marítimo.*
 - *Realizar, dirigir, coordinar y controlar los levantamientos hidrográficos fluviales y oceanográficos para el desarrollo, compilación y colaboración de la Cartografía Náutica.*
 - *Tener a su cargo la construcción, administración y mantenimiento de los Faros, Boyas y Balizas en el País.*
 - *Propender el desenvolvimiento de las ciencias y artes necesarias para la seguridad de la navegación.*
 - *Constituir el organismo oficial técnico y permanente del Estado a quien representará en todo lo que se relaciona con las investigaciones oceanográficas, hidrográficas de la navegación y ayudas a la navegación.*

2.3 Definición de IoT y Urbótica

2.3.1 Urbótica

La urbótica es un tema que se deriva de la automatización doméstica y cabe recalcar que el término urbótica no únicamente se debe a la escala sino a la problemática que envuelve una ciudad y cuestiona el cómo la tecnología se emplea para dar solución a estos problemas.

Walter Barberis (2011), uno de los autores que han contribuido a dar forma a los conceptos en torno a la urbótica, en su trabajo Ciudad Urbótica Contemporánea: Urbanística y Nuevas Tecnologías en el Espacio y los Servicios Urbanos expresa:

“las ciudades han sido escenario de los mayores avances tecnológicos producidos hasta la actualidad, pero no han podido (o sabido) incorporar muchos de estos avances como parte funcional de su estructura.”

La realidad actual de la tecnología permite desarrollar soluciones cada vez más efectivas a problemáticas relacionadas a las urbes y sus habitantes principalmente debido a la difusión del IoT, disminución de precios para cosecha energética y el fortalecimiento de tecnologías LPWAN. Es por eso que en este proyecto de tesis se emplean varios de estos recursos para proponer una aplicación en el campo de Ciudades Inteligentes.

2.3.1.1 Ciudades inteligentes (Smart Cities)

Las ciudades inteligentes o Smart Cities son un concepto bastante popular en los últimos años debido a la visión futurista difundida por la Internet. Esta definición implica entre muchas cosas tecnologías de la información, Internet de las cosas, big data e inteligencia artificial. El Grupo Temático sobre Ciudades Inteligentes y Sostenibles creado por la Unión Internacional de Telecomunicaciones, define a una Ciudad Inteligente y Sostenible como:

“Una Ciudad Inteligente y Sostenible es una ciudad innovadora que aprovecha las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) y otros medios para mejorar la calidad de vida, la eficiencia del funcionamiento y los servicios urbanos y

la competitividad, al tiempo que se asegura de que responde a las necesidades de las generaciones presente y futuras en lo que respecta a los aspectos económicos, sociales, medioambientales y culturales”.

(FG-SSC, 2015)

Las Smart Cities también han sido definidas a través de un modelo de referencia por capas.

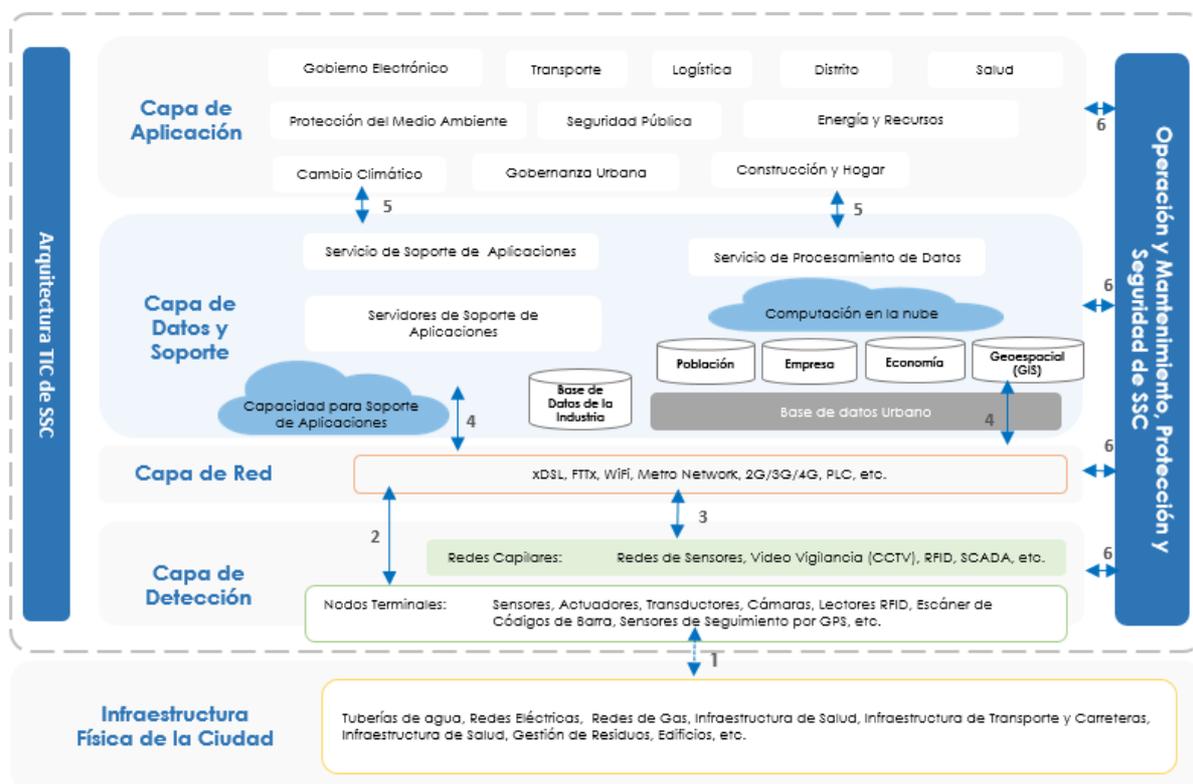


Figura 9. Modelo de referencia Smart Cities.

Fuente: (MTC, 2015)

Las capas se detallan de la siguiente forma:

- Capa de detección: Capta los datos a través de las redes de sensores. Y está compuesta por elementos como: sensores, transductores, actuadores, cámaras, etc. Además de redes capilares como SCADA, redes GPS, etc.
- Capa de red: Conformado por redes de operadores celulares, y otras redes que soporten las comunicaciones de una ciudad inteligente.

- Capa de datos y soporte: Hace que la ciudad sea más “inteligente”, contiene a los Data Center de las industrias, empresas, edificios, municipalidades, etc.
- Capa de Aplicación: Maneja las aplicaciones y servicios de la ciudad inteligente entre estos están, transporte, seguridad, salud, energía y protección ambiental.

(MTC, 2015)

2.3.1.2 Características de una ciudad inteligente

A continuación, en la Figura 10, se listan las características para una ciudad inteligente, estos criterios fueron tratados por Giffinger, Fertner, Kramar, Kalasek, Pichler-Milanovic y Meijers (2007) y Cortés (2017), son parte de una serie de características de las que se ha tomado los factores clave.

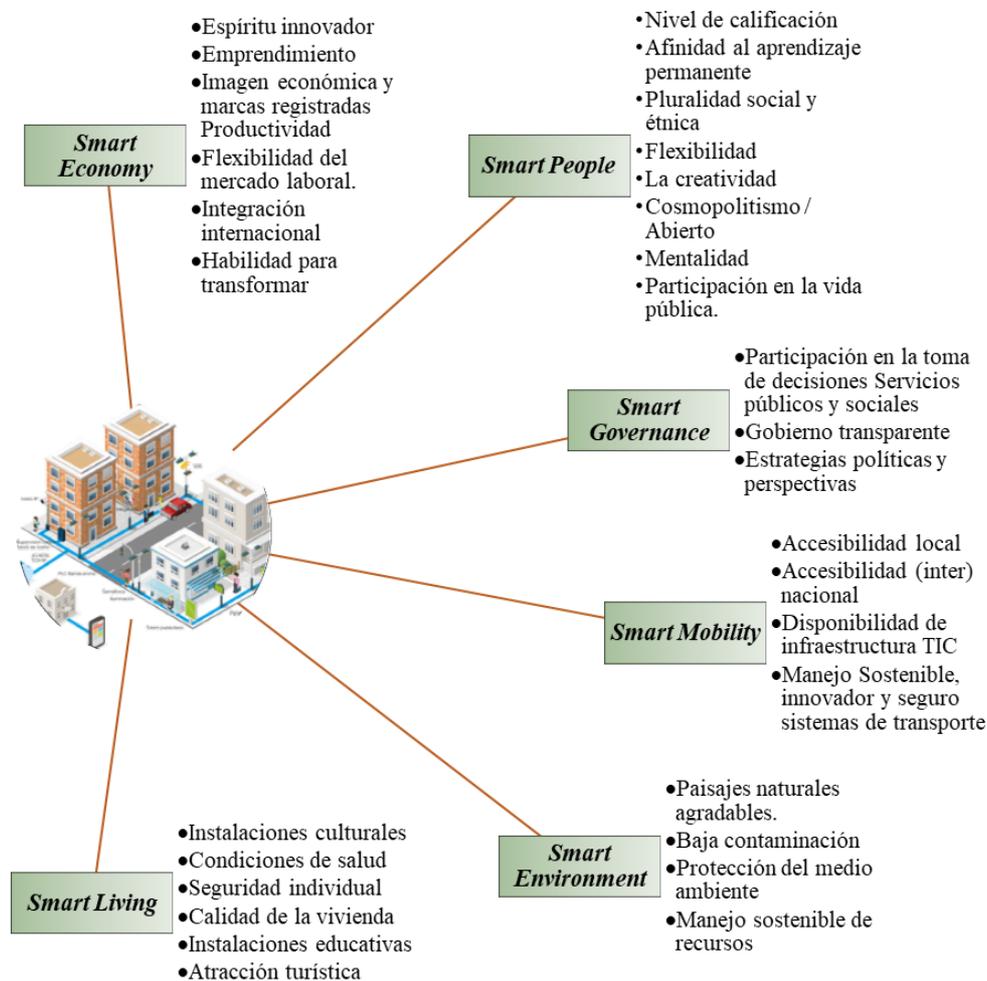


Figura 10. Características de las Ciudades Inteligentes.

Fuente: (Giffinger, et al., 2007); (Cortés, 2017),

Tomando en cuenta la distribución de la Figura 10, el presente proyecto se enfoca en “Smart Living” y “Smart Environment” utilizando la información meteorológica como instrumento de información automatizada a la ciudadanía.

2.3.2 Internet de las cosas (IoT)

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) define al término Internet de las Cosas (IoT, por sus siglas en inglés) como:

“La infraestructura mundial para la Sociedad de la Información que propicia la prestación de servicios avanzados mediante la interconexión de objetos (físicos y virtuales) gracias a la Inter operatividad de tecnologías de la información y la comunicación presentes y futuras.

- *NOTA 1 – Gracias a la identificación, la adquisición y el procesamiento de datos y a las capacidades de comunicación, IoT hace pleno uso de los objetos para ofrecer servicios a todo tipo de aplicaciones, garantizando a su vez el cumplimiento íntegro de los requisitos de seguridad y privacidad*
- *NOTA 2 – Desde una perspectiva más amplia, IoT puede considerarse una noción con repercusiones tecnológicas y sociales.”*

(Unión Internacional de Telecomunicaciones , 2012)

Según Lea (2018) el origen del término “IoT” se remonta a la época de 1997 donde Kevin Ashton hace referencia al término, mientras desempeñaba su trabajo en la multinacional “Procter and Gamble” (P&G), donde aplico la tecnología de tarjetas RFID para manejo de cadenas de suministro. La historia del Internet de las Cosas está ligado a los avances de la conectividad y acceso a Internet desde la creación de ARPANET en 1969. Para ilustrar el crecimiento del IoT, en la **Figura 11** se recorre la cronología de cómo evolucionó la conexión de dispositivos convencionales a Internet.

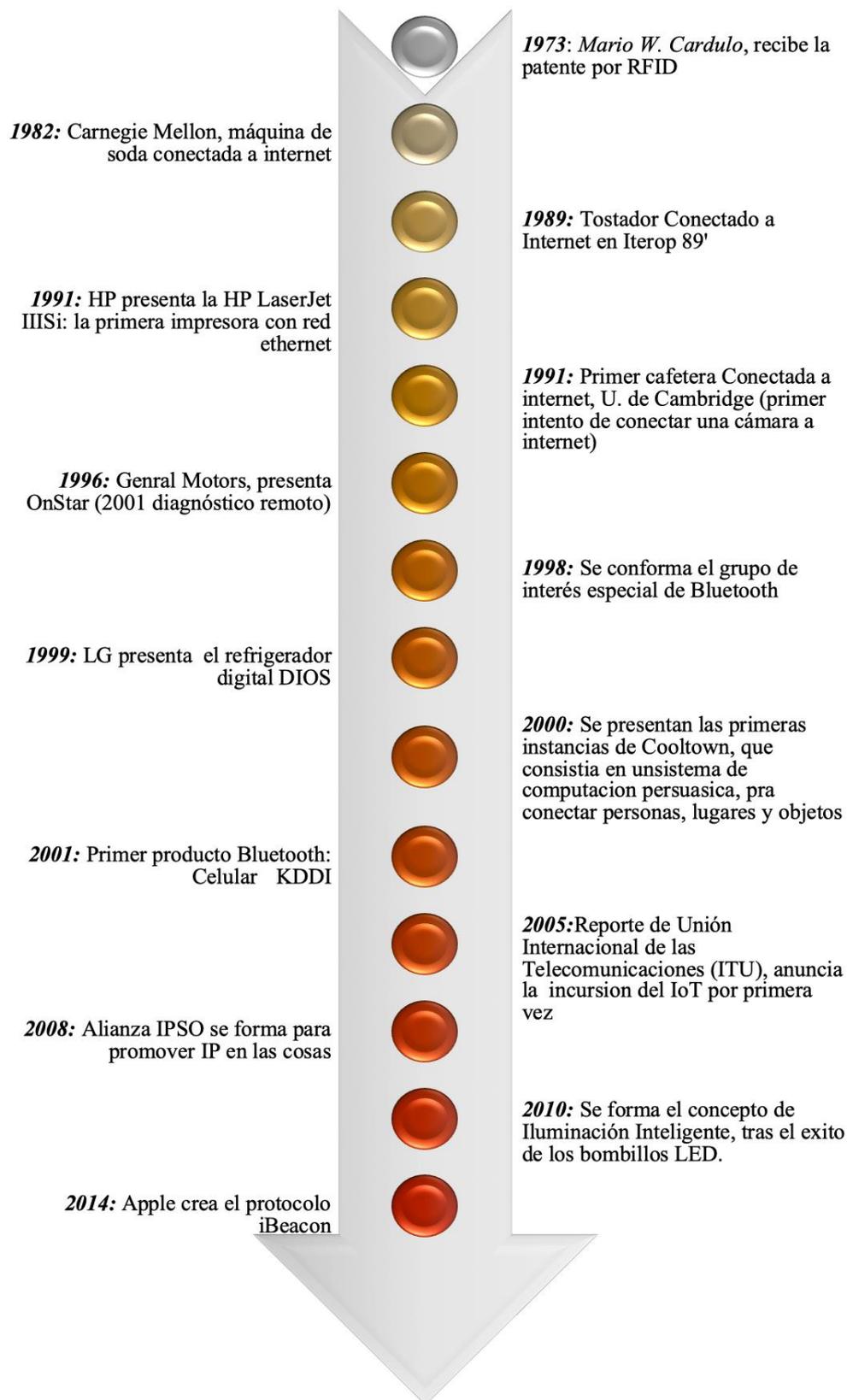


Figura 11. Cronología del IoT.

Fuente: (Lea P. , 2018)

El impacto del IoT, despierta el interés en personas de todo el mundo, y esto se evidencia en los índices de búsqueda del motor Google. En los últimos cinco años se ha producido un marcado interés en la población mundial, con un promedio de 80 en la escala de 0 a 100, como se aprecia en la gráfica de Figura 12, es el nivel de interés en el tópico en función del tiempo, estos valores se obtienen al escalar un volumen de búsqueda de un tema específico, respecto del total de búsquedas realizadas en un momento y región. Siendo $0 = \text{ningún interés}$ y $100 = \text{muy interesante}$ (Google Trends, 2019).

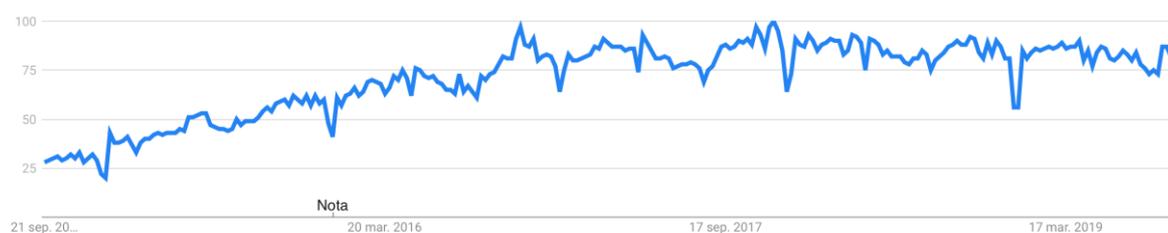


Figura 12. Tendencia mundial búsqueda tema "IoT" desde 2014 – 2019.

Fuente: (Google Trends, 2019)

En Ecuador las tendencias son similares y las métricas de Google Trends marcan como la provincia más interesada en el tema de IoT a Cotopaxi como se aprecia en la Figura 13.

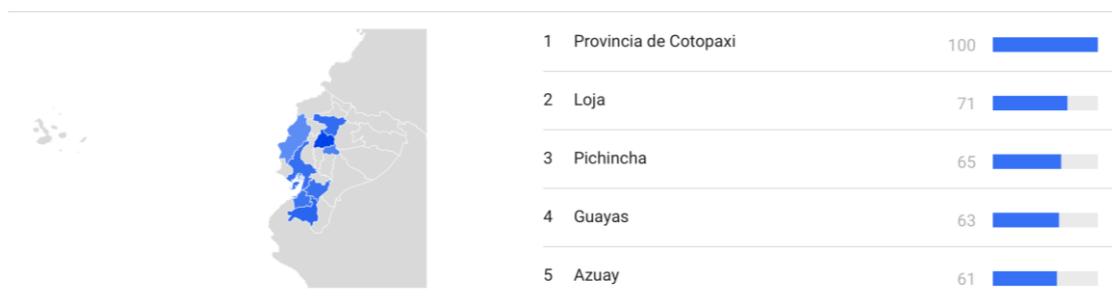


Figura 13. Interés en "IoT" por Provincia en Ecuador del 2014-2019.

Fuente: (Google Trends, 2019)

Otro dato importante de notar es el crecimiento de la población y proyección de número de dispositivos conectados a Internet por persona, ya que avanzan proporcionalmente y con una tendencia al alza. Tomando en cuenta los valores de la Figura 14, donde se muestran datos

desde 2015, para 2025 se prevé un aumento poblacional que alcance casi 8 mil millones de personas en el mundo, con ello el número de dispositivos conectados por cada habitante sea de al menos 10, aproximadamente 80 mil millones de dispositivos conectados a Internet.

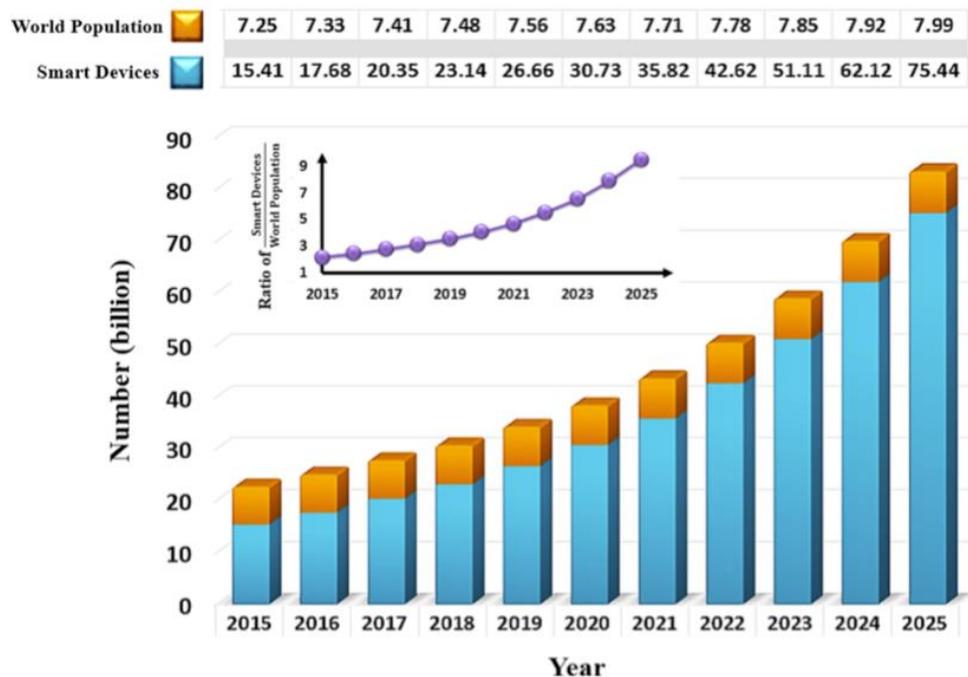


Figura 14. Proyección de crecimiento poblacional y dispositivos conectados a Internet.

Fuente: (Alavi, Jiao, Buttlar, & Lanjef, 2018)

2.3.2.1 Características del IoT

Las características fundamentales que conforman el IoT, son:

- Interconectividad: Todo puede estar conectado a Internet.
- Servicios relacionados con objetos: Puede proveer de servicios al entorno relacionado a determinado objeto, dentro del marco en el que este desempeña una función.
- Heterogeneidad: Cada dispositivo IoT, puede pertenecer a diferentes bases de hardware y red.
- Cambios dinámicos: El estado en un dispositivo de IoT varía con el tiempo, este puede encontrarse en reposo activo (stand by), conectado o desconectado, además de que el número de dispositivos puede cambiar dinámicamente.

- Escala enorme: El número de dispositivos en volumen podría ser incluso mayor al número de dispositivos conectados actualmente a Internet (PC, Teléfonos inteligentes, etc.)

Las funciones de un sistema IoT están organizadas en un modelo de referencia propuesto por UIT (2012), como se describe en la **Figura 15**, el modelo de referencia IoT cuenta con cuatro capas:

- Aplicación: Contienen la aplicación de IoT.
- Apoyo a servicios y aplicaciones: Contienen las capacidades de soporte genérico, como pueden ser el procesamiento o almacenamiento de datos; y la capacidad de soporte específico, para atender necesidades específicas de una aplicación (comprenden las funciones de apoyo en aplicaciones IoT).
- Red: Consta de capacidades de red, que controla la conectividad de red (transporte de información, gestión de movilidad, autenticación, autorización y contabilidad); capacidad de transporte, suministra la conectividad para transportar información y datos específicos.
- Dispositivos:
 - Capacidad de dispositivo: Puede interactuar directamente o indirectamente con la red del dispositivo, los dispositivos pueden construir redes inalámbricas descentralizadas o Ad-hoc, deben disponer de modos reposo y activo para ahorro de energía.
 - Capacidad de pasarela: Soporta diferentes tipos de tecnologías, alámbricas e inalámbricas, en el caso de ser necesario se puede realizar la conversión de protocolo.

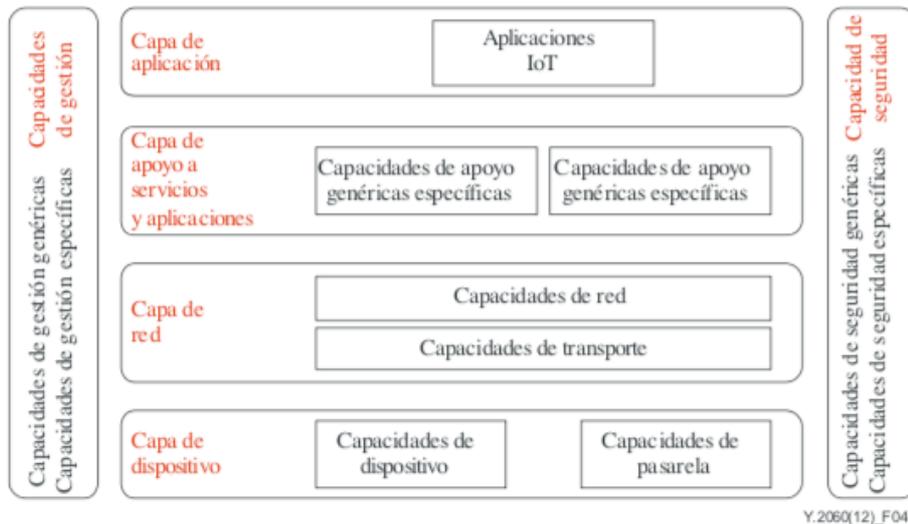


Figura 15. Modelo de referencia IoT.

Fuente: (Unión Internacional de Telecomunicaciones , 2012)

2.4 Servidor Web Embebido

Servidor Web también llamado servidor HTTP, es un computador conectado a una arquitectura de red (usualmente en una ubicación geográfica central), entre otros lenguajes que habiliten la ejecución de aplicaciones web. A través del uso de peticiones y respuestas empleando el Protocolo de Transferencia de Hipertextos (HTTP capa de aplicación del modelo TCP). Este modelo de comunicación es llamado cliente-servidor (Tanenbaum & Wetherall, 2012).

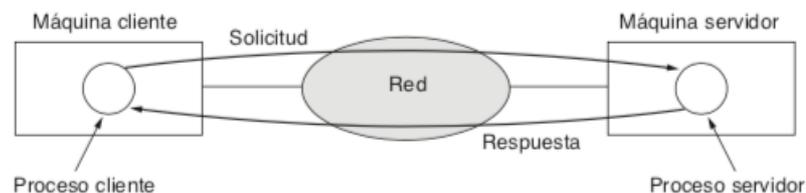


Figura 16. Modelo Cliente- Servidor.

Fuente: (Tanenbaum & Wetherall, 2012)

Un *servidor web embebido* puede interpretarse como la combinación de hardware (sistema embebido) y software (petición y respuesta HTTP), en un mismo dispositivo electrónico esto se logra a través de una implementación llamada “Light weight IP Stack” o

lwIP esta especificación permite tener una *pila TCP/IP completa* en sistemas embebidos así se puede entregar servicios como IP, ICMP, IGMP, MLD, ND, UDP, TCP, sockets API, DNS (Kolban, 2018).

Algunos Microcontroladores, sistemas en chip (SoC) e incluso autómatas programables (PLC) ofrecen la integración de un servidor web en su sistema usualmente constan de una página web que se aloja dentro de la memoria del dispositivo y permite integrar las funciones de Interfaz Humano Máquina (HMI).

2.5 Interfaces de Programación de Aplicaciones Web (API's)

Los dispositivos IoT, usan aplicaciones Web y para potenciar la funcionalidad de una página Web se emplean interfaces de programación de aplicaciones (API); una API es un conjunto de reglas y protocolos que permiten la ejecución de una tarea entre dos aplicaciones en el caso web una API se puede encargar de la comunicación, la gestión de la base de datos, mostrar gráficos, etc. (Wittern, 2018).

Tabla 1.
API's para Web

API	Descripción	Documentación de la API
<i>Forms</i>	Permite agregar métodos, eventos o estado de los formularios dentro del código HTML5, además de la validación de los campos en tiempo real.	https://www.w3schools.com/js/js_validation_api.asp
<i>Canvas</i>	Provee de métodos y propiedades en las que se puede realizar aplicaciones graficas con elementos de tipos <canvas>.	https://canvasjs.com
<i>Drag and Drop</i>	Permite, arrastrar y soltar para interactuar con la aplicación web.	http://mark-rolich.github.io/Dragdrop.js/
<i>Geolocation</i>	Permite obtener la localización física real de un usuario, sumado a la API de Google Maps y Static Maps.	https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/Geolocation_API
<i>Web Storage</i>	Permite el almacenamiento de datos en el disco duro del usuario, se usa	https://www.w3schools.com/html/html5_webstorage.asp

CONTINÚA 

	cuando la información se usa en la sesión y cuando la información debe permanecer indefinidamente en el dispositivo.	
<i>IndexedDB</i>	Es un sistema de base de datos, que se aloja en los dispositivos del usuario, los almacenes de objetos no tienen una estructura, simplemente son nombres e índices.	https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/WindowOrWorkerGlobalScope/indexedDB
<i>File</i>	Con el uso de una infraestructura de bajo nivel, se pueden generar archivos, para ser compartidos. Además, trabaja de forma asíncrona y síncrona.	https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/File
<i>Ajax</i>	Interactúa con diferentes servidores desde la aplicación o permite trabajar con segmentos de código y con todo.	https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/XMLHttpRequest
<i>Web Messaging</i>	Permite comunicarse entre sí, a las aplicaciones de orígenes diferentes, diferentes cuadros, ventanas o pestañas.	https://www.w3.org/TR/2010/WD-webmessaging-20101118/
<i>Web Sockets</i>	Ofrece comunicación bidireccional entre navegador y servidor, sin emplear HTTP, es una mejora de Ajax.	https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/Websockets_API
<i>Web Workers</i>	Aporta multiprocesamiento al código de JavaScript.	https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/Web_Workers_API
<i>History</i>	Sirve para para modificar y trabajar con la información del historial de un navegador web.	https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/History_API
<i>Offline</i>	Permite guardar archivos en el dispositivo del usuario de forma que se pueda ejecutar la aplicación sin conexión a Internet.	https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/HTML/Using_the_application_cache
<i>Tensorflow</i>	Permite emplear las funcionalidades de las operaciones con tensores es útil en aplicaciones de Machine Learning.	https://js.tensorflow.org/api/latest/

Existe gran variedad de API's que se pueden emplear en una aplicación web, en la Tabla 1 se muestran algunas de la más usadas en la especificación HTML5 a través de JavaScript.

2.6 Protocolos en IoT

A partir del modelo de referencia para IoT, en la Figura 15 se puede categorizar los protocolos, agrupando las cuatro capas del modelo así:

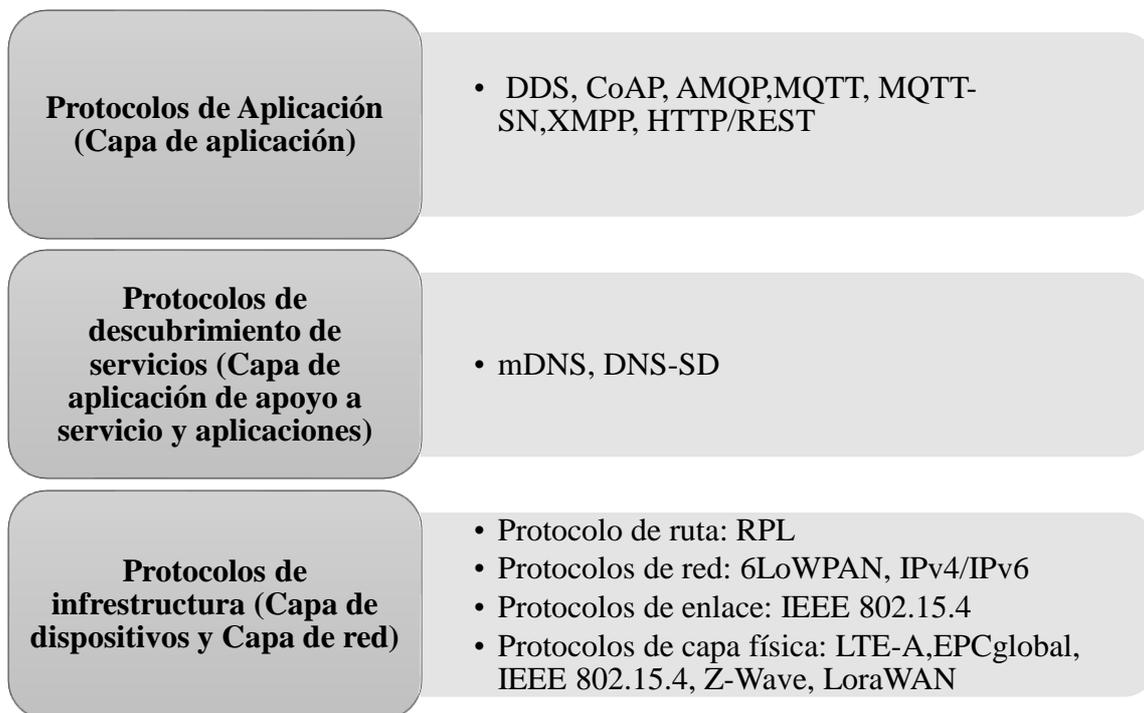


Figura 17. Categorías de los protocolos de IoT.

Fuente: (Raj & Raman, 2017, pp. 62-65)

Lo anterior lo enuncian varios autores, como Gerber (2018) y Lea (2018, pp. 11-12).

2.7 Protocolos útiles para este proyecto

2.7.1 Protocolo de tiempo de red (NTP)

El protocolo de tiempo de red o NTP por sus siglas en inglés, nace en el año de 1993 con la idea de sincronizar el tiempo de un computador con el uso del Internet, esto permite que se revele un posible desajuste del reloj local del cliente en comparación con el reloj del servidor NTP.

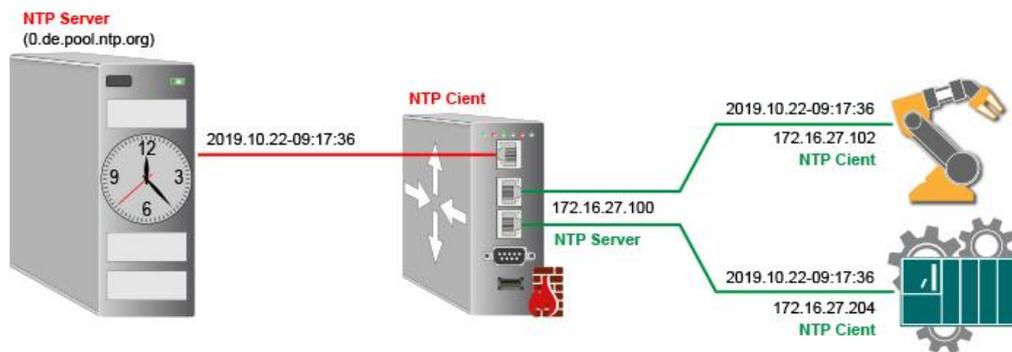


Figura 18. Esquema simplificado del protocolo NTP.

Fuente: (CC-ONLINEHELP, 2011)

El protocolo NTP, sigue los siguientes pasos para ejecutarse.

1. Cliente envía solicitud de hora UDP, con la hora del cliente.
2. Servidor recibe la petición y devuelve la hora del servidor NTP.
3. Se mide el tiempo en ambos sentidos de la comunicación, para obtener el tiempo total de tránsito (Round Trip Delay).
4. Cuando el cliente tiene la información del servidor, calcula el desajuste del reloj local con respecto del servidor NTP.
5. El cliente procede a la sincronización, corrigiendo el tiempo del reloj local.

(Tapia Jiménez & Romero López, 2012)

2.7.2 Sistema de nombres de dominios (DNS)

El sistema de nombres de dominios (DNS por sus siglas en inglés), es un sistema que permite nombrar a las direcciones IP para poder identificarlas fácilmente a través de palabras, dado que las máquinas solamente entienden la notación numérica de una IP.

La asociación IP/nombre se produce a través de la utilización de una aplicación que emplea una función de librería llamada “resolver”, la que pasa el nombre asignado a la IP como parámetro y envía a realizar búsqueda del nombre en un servidor, la respuesta de esta función es una dirección IP. Los mensajes de solicitud y respuesta son paquetes UDP, cuando ya se

obtiene la IP entonces se puede establecer una conexión TCP. En Internet quien administra los nombres con sus respectivas IP, es la Corporación de Internet para la Asignación de Nombres y Números (ICANN por sus siglas en inglés) (Tanenbaum & Wetherall, 2012, pp. 525-531).

2.7.3 Multicast DNS (mDNS)

Las siglas de este protocolo se deben al sistema de nombres de dominios de multidifusión o multicast DNS, el término multicast hace referencia a una transmisión simultánea de paquetes y se traduce como multidifusión (Tanenbaum & Wetherall, 2012, p. 15).

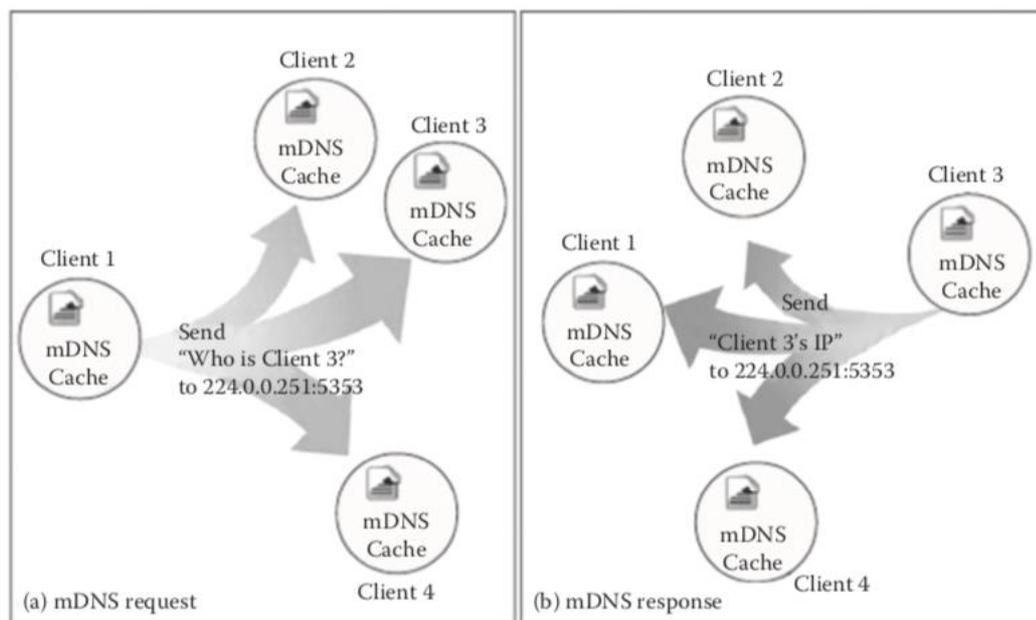


Figura 19. Funcionamiento de mDNS.

Fuente: (Raj & Raman, 2017, pp. 79-80)

El servicio mDNS cumple la misma función de DNS, con la flexibilidad de funcionar en local, esto lo hace mucho más útil para redes de sistemas embebidos.

Un servicio IoT que emplea mDNS trabaja enviando una pregunta del nombre de los nodos locales a través de un mensaje multicast IP. Mediante la pregunta el cliente solicita a los dispositivos que tienen nombre específico que respondan. Cuando el dispositivo objetivo recibe un mensaje con su nombre, envía una respuesta multicast con su IP, de este modo todos los

dispositivos que están en la red guardan la IP y el nombre del dispositivo. (Raj & Raman, 2017, pp. 79-80).

2.7.4 HTTP

El Protocolo de Transferencia de Hipertexto (HTTP por sus siglas en inglés), tomando lo citado por Tanenbaum & Wetherall (2012, pp. 587-595) en RFC 2616 “es un protocolo simple de solicitud-respuesta que por lo general opera sobre TCP”. Actualmente para realizar una conexión mediante HTTP, se emplea HTTP 1.1 que hace una conexión persistente, en la cual, primero se realiza una petición TCP y después de la respuesta la sesión permanece abierta dando la posibilidad de enviar otras peticiones TCP, es posible canalizar las peticiones de modo que se pueda enviar una segunda solicitud antes de obtener la respuesta de la primera, esto ayuda a agilizar la llamada de elementos en una página web.

Existen operaciones que se realizan a través de solicitudes HTTP llamadas métodos. Se aplican utilizando una línea de texto ASCII en la que la primera palabra corresponde al método, la segunda es el archivo de la petición y última la versión del protocolo por ejemplo *MÉTODO archivo HTTP/1.1* Los métodos más empleados se listan a continuación:

- **GET:** Lee una página web.
- **HEAD:** Pide el encabezado del mensaje, sin la página y se utiliza para recolectar información de indización o validez de URL.
- **POST:** Se emplea para adjuntar una página al servidor.
- **PUT:** Almacena la página web en el servidor.
- **DELETE:** Elimina la página alojada en el servidor.
- **TRACE:** Se emplea en depuración y pide al servidor que regrese la solicitud en el caso de que se sospecha que no está siendo bien procesada.
- **CONNECT:** Permite la conexión haciendo uso de proxy (dispositivo intermedio como caché web).

- **OPTIONS:** Provee al cliente de una consulta con la que obtienen los métodos y encabezados que pueden usar con la página.

(Tanenbaum & Wetherall, 2012, pp. 587-590)

2.8 Redes LPWAN

Las redes de baja potencia y área amplia conocidas como LPWAN por el inglés Low Power Wide Area Networking, como su nombre lo indica son tecnologías de comunicación que envían pequeñas cantidades de datos a varios kilómetros (en línea de vista) con bajo consumo energético.

Una aplicación ampliamente usada de esta tecnología es las redes de sensores inalámbricos conocidas como WSN por sus siglas en inglés.

Según enuncia Raj & Raman (2017, pp. 53-56) los beneficios que aportan las tecnologías de comunicación LPWAN son:

1. Conexiones de densidad media a alta de dispositivos en red (alternativa a comunicación de base celular con aplicaciones que impliquen baja tasa de transmisión de datos).
2. Aplicaciones con necesidad de batería de larga duración estimada hasta 10 años.

(Dalal, Shah, & Patel, 2018, pp. 64-66)

2.8.1 LoRa

LoRa (Long Range) fue creada como una tecnología propietaria de comunicación por la compañía Cycleo en Francia, y fue comprada por la corporación Semtech en 2012. LoRa Alliance formada en 2015, es el organismo encargado de regular las especificaciones de esta tecnología y es apoyada por IBM, Cisco y otras grandes industrias tecnológicas (Lea P. , 2018, pp. 263-269).

LoRa corresponde a un protocolo de la capa física en el modelo OSI, gestiona la modulación, potencia, comunicación en radiofrecuencia y acondicionamiento de la señal. Esta

tecnología trabaja en frecuencias de bandas libres o de uso Industrial, Científico y Militar (ICM). El hardware de esta tecnología admite 915MHz, 868MHz y 433 MHz dependiendo del lugar donde se desee utilizar, para el caso de Ecuador según LoRa Alliance (2017) el rango de frecuencia de funcionamiento es de 902-928MHz bajo los *canales*: AU915-928, US902-928, AS923. Se caracteriza por brindar un largo alcance con un hardware reducido. Esto es posible gracias a la aplicación de la técnica de “espectro ensanchado”, la que consiste en enviar una señal en un ancho de banda más grande que la necesaria. Esto permite recibir múltiples señales a la vez con diferente velocidad.

Sus parámetros de comunicación son:

- *Canal Frecuencia central que representa el canal.*
- *Spreading factor (SF) Numero de bits empleados para codificar un símbolo. Un mayor SF implica menor velocidad de transferencia, pero es más robusto frente a interferencias.*
- *Coding rate (CR) Indica la técnica para realizar la corrección de errores.*
- *Bandwidth (BW) Ancho de banda de la frecuencia utilizada.*

(LoRaWAN, 2019)

2.8.2 LoRaWAN

LoRaWAN es una especificación de redes LPWAN que trabaja en la capa de red (específicamente MAC) del modelo OSI, por tanto, se encarga del control de transmisión de datos en las tramas. “Las redes LoRaWAN usan una topología de estrella de estrellas con una jerarquía, en la que las pasarelas (gateways) son un puente transparente para transmitir mensajes entre dispositivos finales (e.g., sensores, controladores) y un servidor de red central. Las pasarelas se comunican con el servidor a través de IP en tanto que los dispositivos finales emplean una conexión inalámbrica de un solo salto a una o más pasarelas” (Dalal, Shah, & Patel, 2018, pp. 64-66). La topología de LoRa se muestra en la Figura 20.

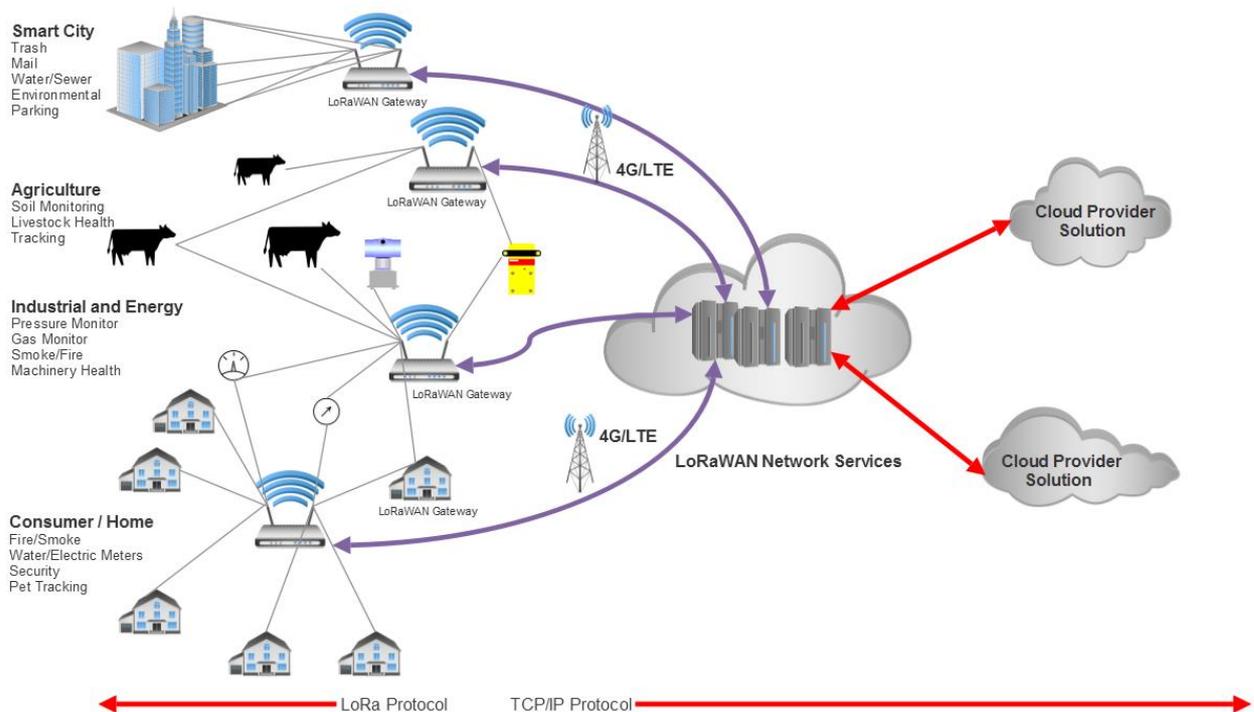


Figura 20. Topología de red LoRaWAN

Fuente: (Lea P., 2018, p. 269)

Bajo esta topología muchos de los dispositivos finales intentaran conectarse a una pasarela al mismo tiempo, pero esta no podrá atender a todos estos dispositivos al mismo tiempo. Así de acuerdo a los tres protocolos de la capa de acceso al medio (MAC) de LoRaWAN, se definen tres clases de dispositivos con objetivo de lograr un balance entre latencia y eficiencia energética.

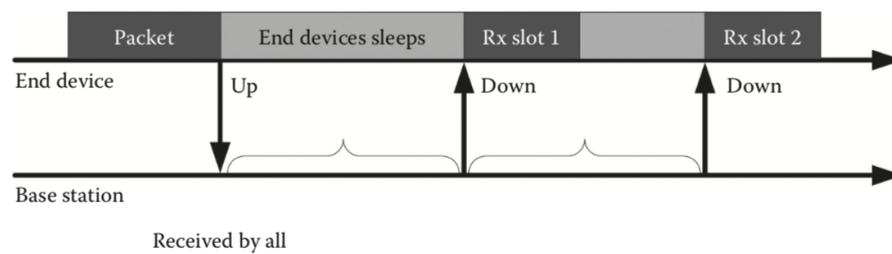
Clase A (All): La comunicación es bidireccional dado que cuando la transmisión de tipo enlace ascendente (uplink o dispositivo-servidor) abre dos ventanas de recepción en el enlace descendente (downlink o servidor-dispositivo). La eficiencia energética es alta al coste de tener alta latencia en transmisión de datos.

Clase B (Beacon): Amplia el funcionamiento de la clase A con la apertura de más ventanas de recepción en tiempos determinados, esto permite que el servidor sepa cuando un dispositivo está a la escucha. Es un equilibrio en eficiencia energética y latencia.

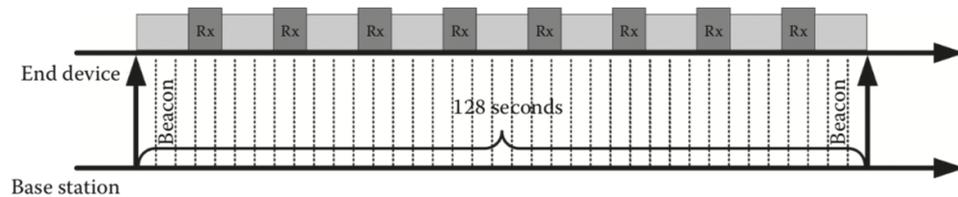
Clase C (Continuos): Estos dispositivos tienen las ventanas de recepción abiertas continuamente y se cierran al transmitir. Por tanto, emplean mucha energía, pero no tienen latencia en el enlace descendente

Todas las clases se representan gráficamente en la Figura 21 a continuación para su mejor entendimiento.

Class A: Receiver Initiated Transmission (RIT) strategy



Class B: Coordinated Sampled Listening (CSL)



Class C: Continuous Listening (CL)

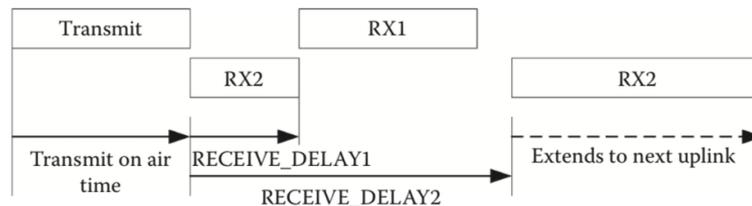


Figura 21. Clases en dispositivos LoRaWAN.

Fuente: (Dalal, Shah, & Patel, 2018)

2.9 Bases de datos (BD)

Las bases de datos en un proyecto relacionado a IoT, habilitan la colección de grandes cantidades de datos para integración con algoritmos de análisis y predicción como son redes neuronales, algoritmos genéticos, bosques aleatorios, etc. Las bases de datos se clasifican en dos grupos:

2.9.1 BD Relacionales

Las bases de datos relacionales emplean un modelo entidad-relación (ER), para formar tablas relacionadas entre sí, donde cada tabla está definida por diferentes campos y se compone de una lista de tuplas o registros (filas de datos), una tabla puede estar vacía o contener un número variables de elementos. La forma de administrar, consultar y modificar datos se ejecuta a través de lenguajes estándar de acceso a bases de datos SQL (Bobadilla & Sancho, 2003).

De acuerdo con Bender, Deco, Sanabria, Hallo, & Gallegos (2014, pp. 13-22) una de las principales utilidades que presta el modelo ER es que aporta un método gráfico para representar la estructura conceptual de una base de datos, como se muestra en la Figura 22. Este modelo tiene diferentes elementos para representación, los más significativos son:

- Entidades: Es el “algo” en base a lo que se necesita recolectar datos. Y se clasifican en dos subgrupos:
 - Fuertes: También conocidas como regulares, se describen por sí mismas, no requieren de otra entidad para existir.
 - Débiles: Para existir depende de otras entidades.
- Atributos: Son las características que dotan de propiedades a la entidad. Se clasifican en:
 - Llave Primaria (#): Brinda la identidad de la entidad dentro del modelo de la base de datos.
 - Atributo Obligatorio (*): Son datos que se requieren conocer.
 - Atributo Opcional (o): Datos no tienen mayor relevancia para la entidad.
- Relaciones: Son los vínculos que existen entre las entidades. Se componen de dos partes:
 - Opcionalidad: Hace referencia a si la relación puede o debe existir.

- Grado: Refiere a la cantidad de relaciones que puede tener una entidad con otra.

(Bender, Deco, Sanabria, Hallo, & Gallegos, 2014, pp. 13-18)

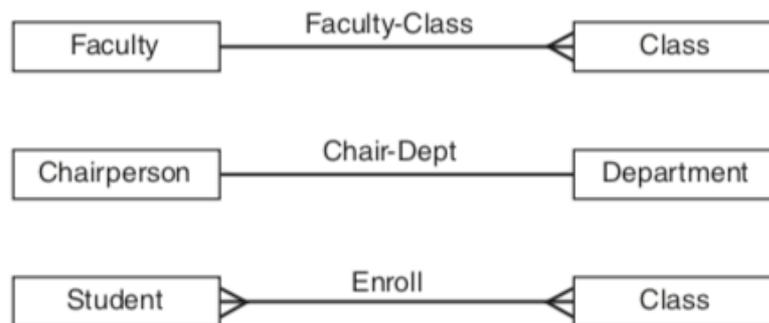


Figura 22. Símbolos en diagramas entidad-relación, notación pata de gallo.

Fuente: (Ricardo, 2004, pp. 124-130)

Este modelo de entidad relación tiene una notación más nueva denominada, “patas de gallo”.

Para ilustrar estos conceptos se muestra el siguiente ejemplo:

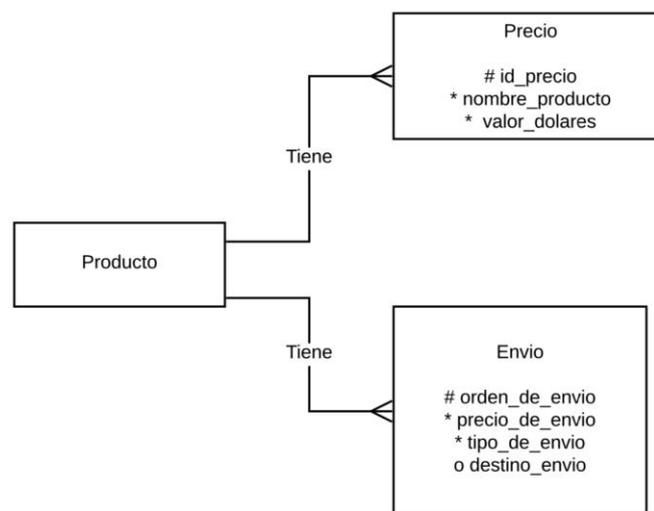


Figura 23. Ejemplo entidad – relación.

Fuente: (Ricardo, 2004, pp. 124-130)

Una entidad llamada “producto”, tiene como entidades subyacentes (débiles) “precio” y “envío” y dentro de esta están atributos de cada entidad débil organizadas de modo que aporten a la estructuración de la base de datos para gestión de inventario y caja.

2.9.2 BD no relacionales

Las bases de datos no relacionales se basan en NoSQL, que quiere decir no únicamente SQL (not only SQL) y es empleado para denotar administración de bases de datos diferentes al modelo tradicional entidad – relación. Los modelos NoSQL atienden a nuevas necesidades como: disponibilidad total, tolerancia de fallos, almacenamiento en orden de peta bytes en miles de servidores, manejo de grandes cantidades de datos estructurados y no estructurados, entre otras. Las bases de datos NoSQL se enfocan en estas necesidades (y se consideran inherentes a las tecnologías relacionadas a Internet).

Características

- No requieren esquemas fijos.
- No emplean tablas.
- Son fáciles y rápidos al instalar.
- Ofrecen alto rendimiento y disponibilidad.
- Evitan operaciones de juntas.
- Soportan paralelismo y escalamiento.
- Tiene esquema libre.

(McCreary & Kelly, 2014, pp. 15-20)

2.9.2.1 Sistemas de Administración de bases de datos NoSQL

En lugar de las tablas del modelo ER, se cuenta con:

- Almacenamiento clave-valor: se compone de pares de tipo clave-valor, donde se usa una tabla hash ² con una clave y un puntero señalando a un objeto correspondiente dentro de una colección.
- Almacenamiento de documentos: Está compuesto por tuplas de tipo clave-documento, donde el objeto documento (usualmente una colección de elementos clave-valor) se encuentra en un formato JSON, XML u otro similar.
- Sistema de bases de datos de grafos: Está formado por grafos (conjunto de nodos y aristas), donde los nodos pueden tener propiedades y las aristas pueden tener etiquetas. Estos grafos se almacenan en tuplas.

(Bender, Deco, Sanabria, Hallo, & Gallegos, 2014, pp. 103-104)

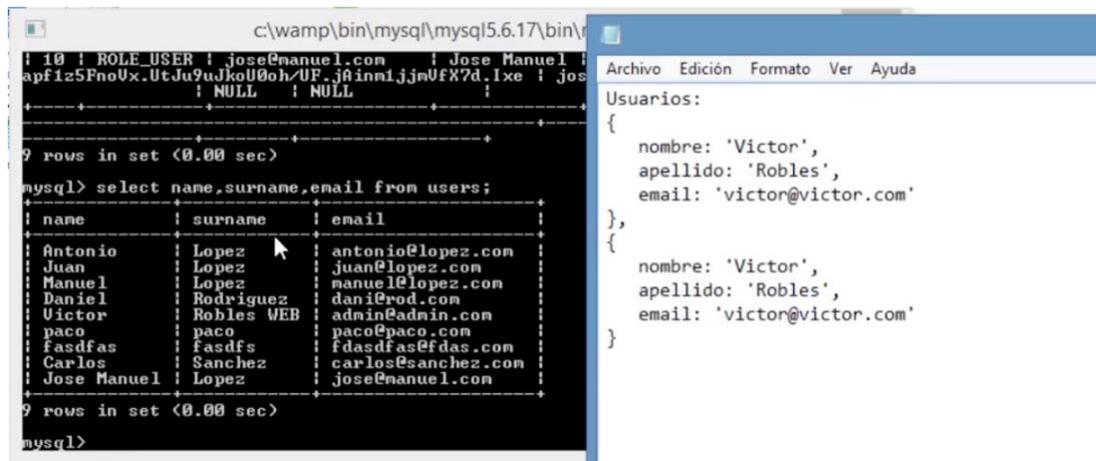


Figura 24. Diferencia entre tabla de MySQL y colección JSON.

Fuente: (Robles, 2017)

2.10 Microcontroladores y tarjetas de desarrollo dedicadas al IoT

2.10.1 Microcontroladores de 32 bits

Las aplicaciones de IoT, usualmente requieren ser de tiempo real, o por lo menos de respuesta rápida. Por este motivo se prefiere la utilización de microcontroladores con

² Hash es una función que a partir de una entrada (texto, archivo, etc.) devuelve un código alfanumérico con la información resumida

arquitecturas de 32 bits (longitud de palabra de 32 bits) con diferentes tipos de conectividad. El primer microcontrolador comercial con estas características fue diseñado en 1990, basado en una arquitectura Reduced Instruction Set Computer (RISC) y según Romeo & Martínez (2010) de ella tomaron principalmente:

- Arquitectura load-store: Las instrucciones que acceden a memoria son distintas de las instrucciones que procesan los datos
- Formato fijo de palabra de instrucción: Todas de 32 bits
- Máquina de tres direcciones (1er operando, 2do operando y resultado): La instrucción se trabajará con registros punteros a operandos, pero no directamente con memoria.

Trae conceptos novedosos que hasta hoy en día se los utilizan:

- Ortogonalidad: Las instrucciones siguen un molde repetitivo. La forma de encarar una suma de números será la misma para las operaciones lógicas. Dichas operaciones pueden realizarse con cualquier registro y no existen registros especiales.
- Modos de Trabajo o Jerarquías: Los microcontroladores pueden trabajar en modo maestro, teniendo todos los “poderes”, o en modo esclavo, siendo supervisado por el maestro. Esto sirve para evitar colapsos de un sistema.
- Excepciones: se refiere a casos particulares en la ejecución del programa que llevan a una situación de falla. En dicho caso, el programa se desvía de su ejecución normal a un tramo que atiende a esa excepción. Las interrupciones son un caso particular de una excepción.
- Bajo Consumo: Se reduce la potencia alimentación de estos microcontroladores para que puedan soportar una frecuencia mayor a las de 8 o 16 bits.

(Romeo & Martínez, 2010)

En este proyecto se ha hecho una revisión de las tarjetas más populares en proyectos de IoT y se describen a continuación.

2.10.2 Spark Core

Es una tarjeta de un tamaño reducido que utiliza un módulo WiFi, cuya finalidad es dotar de conexión a Internet a prácticamente cualquier cosa. Es de código abierto por lo que permite una integración libre en diversos proyectos. Spark Core usa estándares abiertos como HTTP, TCP o TLS/SSL. Su microcontrolador es el STM32F103CB - ARM 32-bit Cortex M3, considerado uno de los mejores disponibles en el 2015. (Loureiro, 2015)

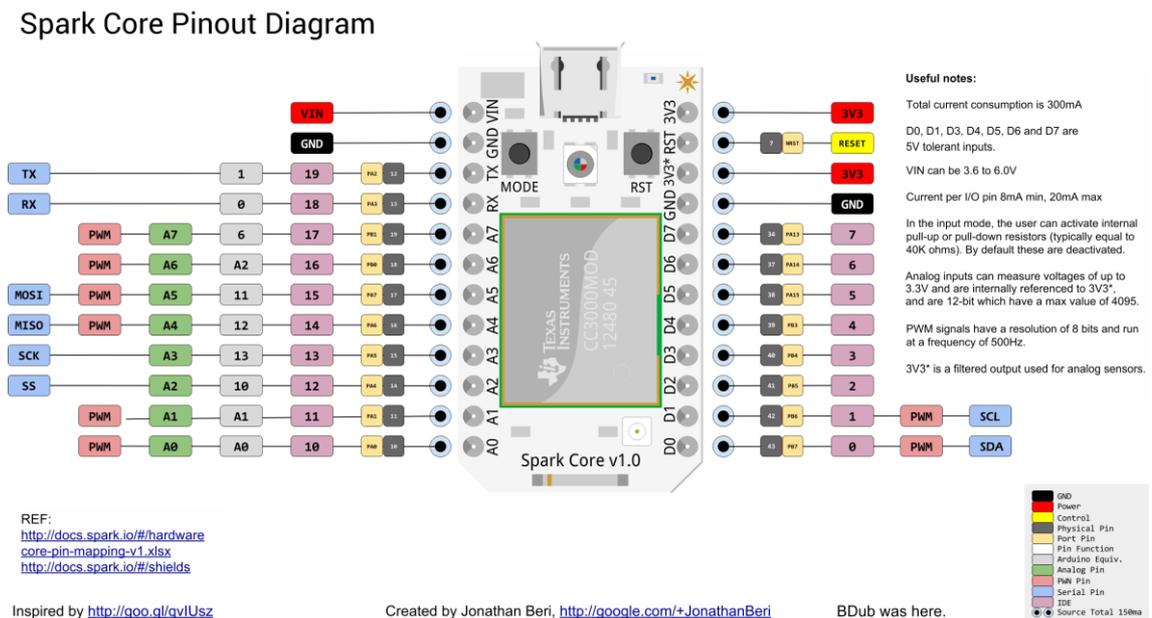


Figura 25. Placa Spark Core v1.0

Fuente: (Beri, 2019)

2.10.3 Intel Galileo

Se trata de una nueva familia de tarjetas que trabajan bajo la arquitectura Intel. Es uno de los primeros productos de Intel para el IoT. Galileo es un microcontrolador basado en el procesador IQuark SoC X1000 que funciona a 400MHZ. Básicamente es una CPU de 32 bits similar a los antiguos Pentium. Está pensado para la domótica y proyectos que necesiten de un PC de bajo consumo y coste (Loureiro, 2015).

Galileo tiene puertos y características que son estándares en una PC. Por ejemplo: puerto Ethernet a 100Mb, espacio Micro SD, memoria flash a 8Mb, un puerto RS-232 serial (Loureiro, 2015).

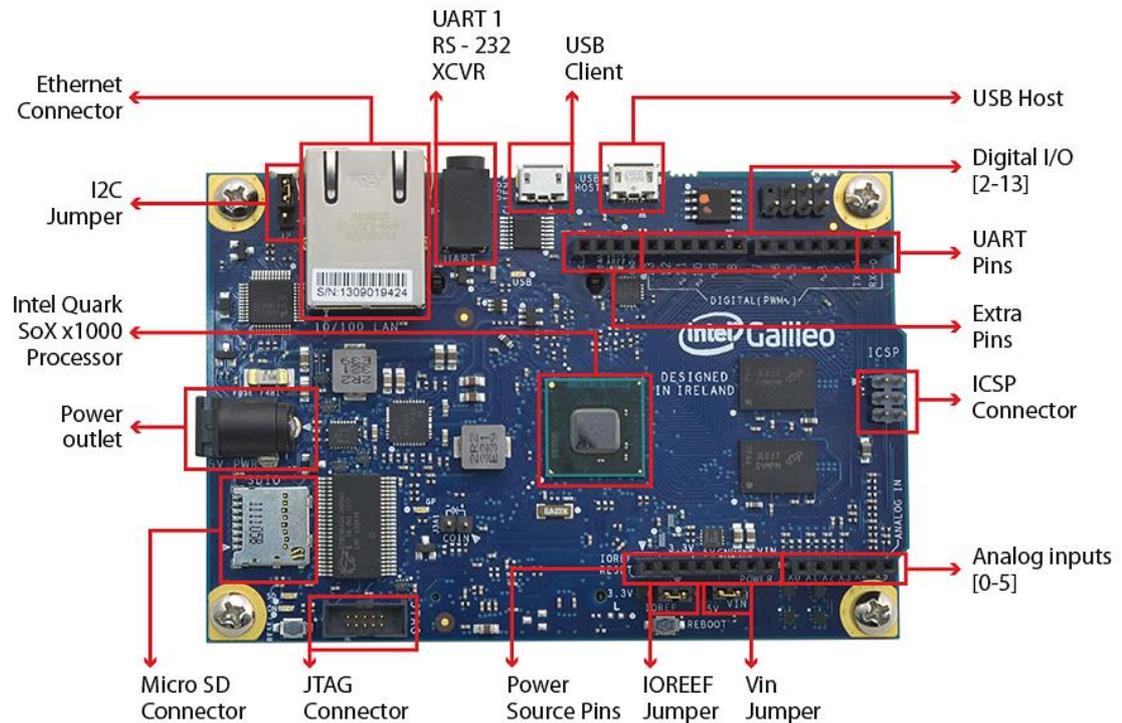


Figura 26. Placa Intel Galileo

Fuente: (Arias, 2019)

2.10.4 Node MCU (ESP8266)

Es un microcontrolador diseñado por Expressif Systems. Su comercialización en masa comenzó en el 2014. Este microcontrolador fue pensado como una solución automática de redes WiFi y que podía interconectar microcontroladores con el Internet. La superficie del ESP8266 es de tan solo 5mm^2 , sin embargo, se comercializa en placas más adecuadas para el desarrollo (Ceja, Renteira, Ruelas, & Ochoa, 2017). Actualmente se lo puede utilizar en muchos más aspectos al permitir su programación directa.

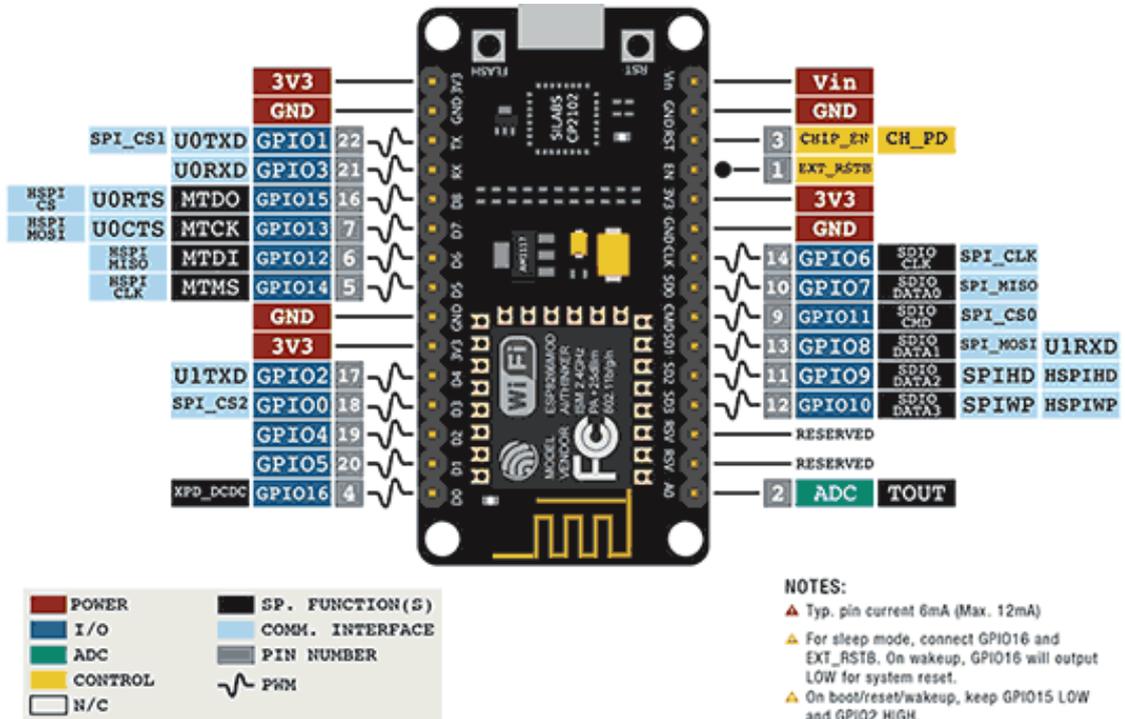


Figura 27. Placa Node MCU (ESP8266)

Fuente: (Llamas, 2018)

2.10.5 ESP32 Dev Kit

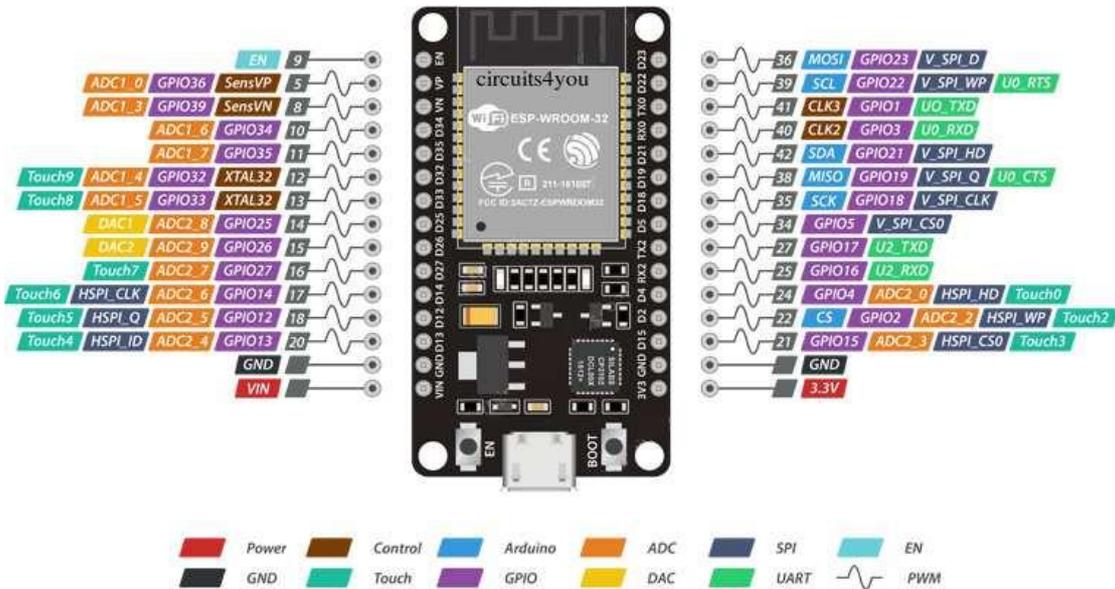


Figura 28. Módulo ESP32 de Espressif

Fuente: (Thakur, 2018)

Al igual que el ESP8266, es un microcontrolador diseñado por Espressif Systems, cuya comercialización en masa comenzó en el 2016. Fue pensado con un objetivo parecido al del

ESP8266. El ESP32 integra muchas más funcionalidades, tales como la comunicación bluetooth, conversores ADC y DAC, sensores Hall, además de otras características que superan al ESP8266 (Espressif Systems, 2018).

Posee certificaciones de Radiofrecuencia, WiFi, Bluetooth y ambiental. Tiene varias aplicaciones en la urbótica, domótica, comunicaciones inalámbricas, industrias, automatización y en dispositivos biomédicos

2.10.6 Módulo TTGO ESP32 LoRa

Es una placa de desarrollo IoT basado en el microcontrolador ESP32 y el Chip SX1276 de comunicación a largas distancias LoRa. Su característica principal es su largo alcance a un bajo consumo de energía. Se puede interconectar hasta 8 de estos dispositivos. Este módulo incluye una pantalla OLED, en el cual se puede presentar cualquier tipo de información. Utiliza el protocolo de comunicación LoRaWAN.

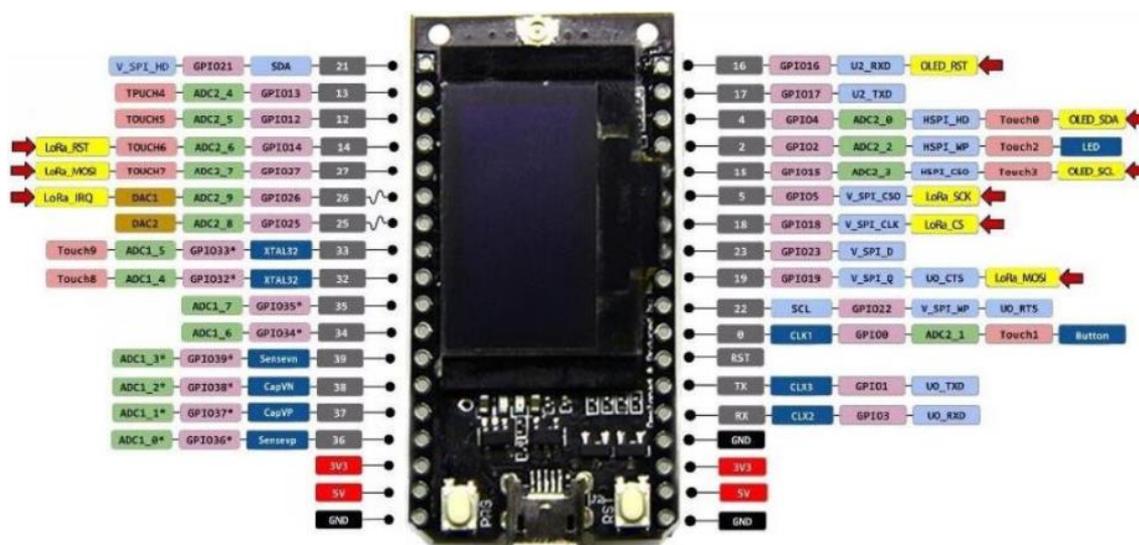


Figura 29. Módulo TTGO ESP32 LoRa

Fuente: (Rodríguez M. , 2018)

2.10.7 Arduino Nano 33 IoT

Es una placa IoT pequeña y robusta con conectividad WiFi y Bluetooth. Es una placa de bajo consumo por su arquitectura. Es compatible con Arduino IoT Cloud, por lo que admite por completo el transporte seguro de información TLS. Integra el cripto chip ATECC608A,



Figura 31. Arduino MKR WAN 1310

Fuente: (Arduino, 2019)

2.11 Energías renovables y su clasificación

En estos últimos años, han existido distintos factores que afectan a la humanidad, entre ellos el cambio climático. Este cambio climático se debe, entre otros, al consumo de electricidad producida por combustibles fósiles.

El precio de dichos combustibles, como el petróleo, y también de la energía eléctrica han ido elevándose en estos años. Y es por ello que ha surgido un incremento en el interés de la producción y comercialización de “Energía Limpia”. Más aún, si el precio de los elementos y herramientas relacionados a este ámbito están descendiendo (Turón & Gomis, 2017).

Hoy en día hay muchas formas de obtener energía limpia, entre las más populares están: las energías eólica, hídrica y fotovoltaica.

2.11.1 La energía eólica

Se refiere a la obtención de energía por la acción del viento y en la antigüedad se utilizaban principalmente por molinos de viento.

El viento es el movimiento de masas de aire generadas por la diferencia de temperatura en la superficie terrestre, lo que ocasiona que las masas de aire “tienden a ascender” y su lugar es ocupado por masas de aire más frías (Barriga, y otros, 2014).

2.11.2 La energía hídrica

Se refiere a la obtención de energía por la acción del paso de agua y en la antigüedad, al igual que la energía eólica, se utilizaban en molinos.

La obtención de la energía hídrica se basa en el uso de la energía potencial y cinética del agua. El agua, al estar a cierta altura y en reposo, tiene energía potencial, la cual al descender se convierte en energía cinética. Actualmente se coloca una turbina en la altura más baja de esta caída de agua para obtener la energía, y luego de la extracción de energía, se devuelve el agua a su flujo normal para su aprovechamiento energético aguas abajo o para el consumo humano (Barriga, y otros, 2014).

2.11.3 La energía fotovoltaica

Se refiere a la obtención de energía por la radiación solar directa.

La energía más importante sobre la tierra es la que proviene del sol, “La radiación solar calienta la atmósfera y el suelo, es la causa de los vientos, del ciclo del agua, calienta los océanos, hace crecer las plantas, entre otros aspecto importante de nuestro ciclo de vida” (Barriga, y otros, 2014).

Para obtener energía eléctrica a partir de la energía solar, se basa en el efecto fotoeléctrico y se logra a través de una célula solar. Los sistemas fotovoltaicos se pueden utilizar en varias aplicaciones (Abella, s.f.).

2.11.4 Aplicaciones de la energía fotovoltaica

- Aplicaciones autónomas

No se encuentran conectadas a la red eléctrica y tiene el objetivo de dotar de energía a los sistemas eléctricos del lugar. Se pueden distinguir:

- Aplicaciones Espaciales: sirven para la alimentación de satélites, robots o equipo espacial.
- Aplicaciones Terrestres: conllevan todas las actividades humanas electrónicas sobre la superficie terrestre, ya sea para las telecomunicaciones, alumbrado público, electrificaciones, bombeo, etc.

(Díaz & Carmona, 2017)

- Aplicaciones conectadas a la red:

Se caracterizan por que el sistema fotovoltaico se conecta a la red eléctrica, y la energía sobrante puede ser vendida al organismo encargado de la distribución de electricidad o cuando exista una baja de producción se puede utilizar la electricidad dada por el mismo organismo (Díaz & Carmona, 2017).

Dependiendo del nivel de producción se pueden clasificar en 2 tipos de aplicaciones

- Centrales fotovoltaicas y huertos solares: se caracteriza por que se ubican en extensiones considerables de terreno para la producción fotoeléctrica y dedicada solo a vender la energía
- Edificios fotovoltaicos: Permite a una casa o edificio producir energía para su propio consumo, en este caso, es posible que la producción sea baja dependiendo del clima y por lo tanto puede dedicarse tanto a vender energía como a comprarla.

2.11.5 Cosecha energética en sistemas fotovoltaicos

La cosecha energética o “energy harvesting” se refiere a la generación de energía, su almacenamiento, gestión y uso. La energía captada puede proceder de diferentes fuentes, tales como la luz solar, el calor, el viento, agua, gravedad, etc. Y principalmente se obtiene energía eléctrica para aplicaciones de baja potencia. La energía generada es útil solamente si es mayor a las pérdidas que se presentan dentro del sistema, ya sea por su gestión o por su transferencia (Casanova, 2018).

Según Díaz & Carmona (2017) un sistema fotovoltaico, básicamente se compone de:

- El módulo fotovoltaico: es el elemento que transforma la energía solar en energía eléctrica directa, su energía puede fluctuar tanto en voltaje como en corriente.
- El controlador de carga: Es el encargado de mantener constante la tensión de carga a las baterías, adicionalmente otorga una protección a los paneles solares y a las baterías.
- Baterías: Encargadas de almacenar la energía para su utilización cuando las condiciones climáticas u hora del día no permita obtener energía solar.
- Inversor: Es el encargado de convertir la corriente continua a corriente alterna que cumpla las características necesarias, (en el Ecuador: 120V a 60Hz). Si el sistema se conecta a la red, el inversor debe sincronizarse con la señal de la red.
- Carga: Puede ser de corriente continua o alterna, si es una carga continua se debe conectar antes del inversor, si es una carga alterna es mejor conectar después del inversor.

La Figura 32, detalla mejor los componentes de un sistema fotovoltaico.

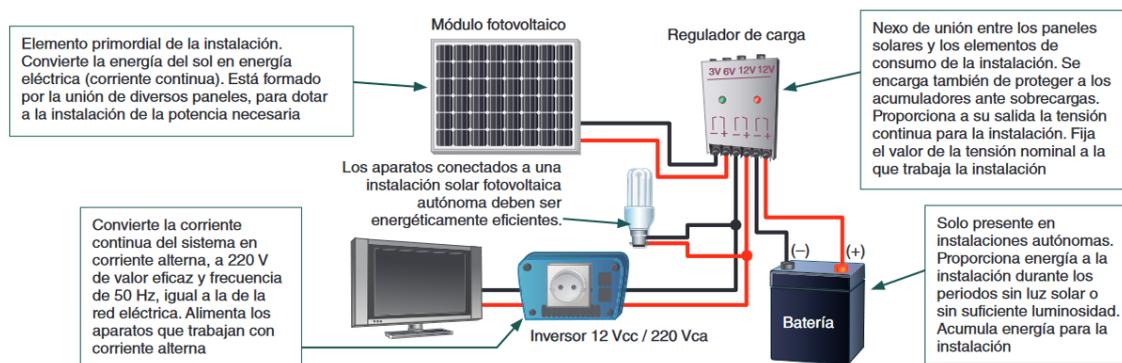


Figura 32. Componentes de un sistema fotovoltaico

Fuente: (Díaz & Carmona, *Componentes de una instalación solar fotovoltaica*, 2017)

2.11.6 Eficiencia energética

La eficiencia eléctrica (también llamada como rendimiento) es la relación entre la energía útil (después de la transformación o uso) y la energía de entrada (o suministrada), se acostumbra a denotar con la letra griega “eta” η .

$$\eta = \frac{\text{energía útil}}{\text{energía de entrada}} \cdot 100\% \quad (1)$$

Los cálculos en términos de eficiencia se expresan porcentualmente (Barriga Rivera, et al., 2014). Para un sistema fotovoltaico, se debe tomar en cuenta la eficiencia de carga, la cual es la relación entre “la energía empleada para recargar la batería y la energía realmente almacenada” (Díaz & Carmona, 2017).

CAPÍTULO III: INGENIERÍA BÁSICA

3.1 Descripción general de los sistemas

Se cuenta con dos tipos de sistemas, la micro estación meteorológica (MEM) y las estaciones de información meteorológica (EIM). Como se muestra en la Figura 33, la MEM mide los valores de las variables meteorológicas (temperatura, presión, radiación UV, Índice UV, Humedad e Iluminación) y tiene una conexión WiFi con la Internet para almacenar los datos medidos en una base de datos en la nube, Firebase. Envía los mismos datos a través del protocolo LoRa WAN a las EIM. Estas cuentan con una pantalla LED para informar a las personas cercanas sobre el estado de estas variables con ayuda de información adicional en una infografía. Además, estas generan su propia red WiFi para que se puedan observar de forma más detallada los valores en una página web gestionada por el servidor embebido que permite levantar el ESP32.

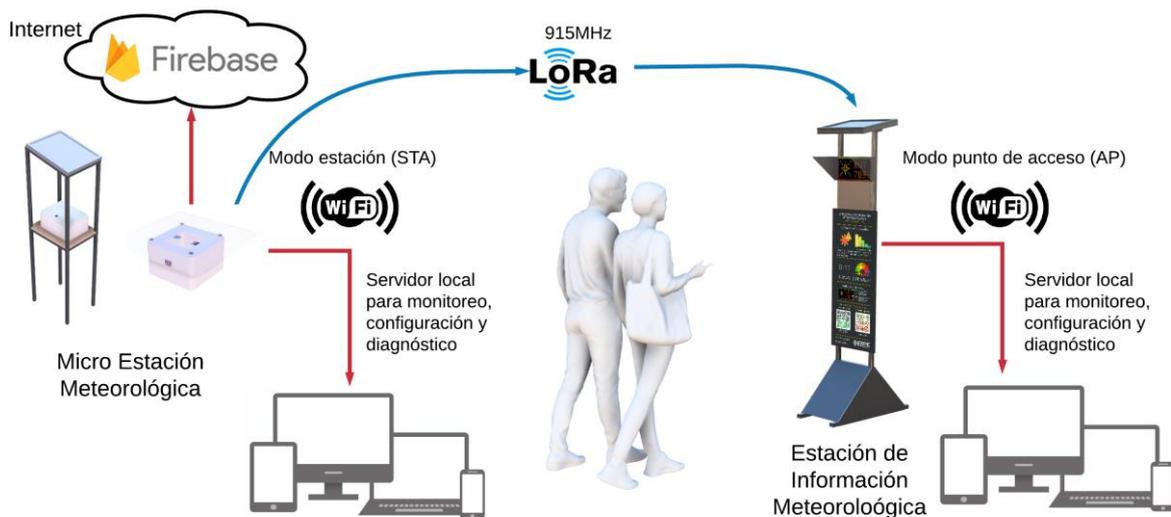


Figura 33. Descripción gráfica de la Micro Estación Meteorológica (MEM) y las Estaciones de Información Meteorológica (EIM)

Tanto la MEM como las EIM son autosustentables a través de una fuente energética alternativa a la red eléctrica de la UFA-ESPE.

3.2 Selección de una fuente alternativa

Dentro del campus de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, las energías alternativas que se dispone son: la solar y la eólica.

Debido a que no existen Fuentes naturales o flujos constantes de agua dentro del campus, la energía hídrica es descartada para estos sistemas.

La energía eólica dentro del campus depende de la temperatura ambiente, la presión y la humedad. Para la obtención de energía eléctrica se requiere de partes móviles mecánicas, lo que sugiere un mantenimiento y reemplazo de piezas cada cierto tiempo.

Por otro lado, la energía solar solo depende de la nubosidad y la pluviosidad. La obtención de energía eléctrica a partir de la radiación requiere de materiales semiconductores y de la limpieza de los paneles fotovoltaicos.

Además, en la norma NEC-11, cap14 referente a energías renovables, se menciona que Ecuador, al estar en la línea equinoccial, “tiene poca variabilidad en la posición del sol durante todo el año, lo cual favorece la aplicación de la energía solar para producir electricidad y calor” (Comité Ejecutivo de la NEC, 2011).

La Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, campus Sangolquí, al encontrarse en la latitud -0.3° , muy cerca de la línea equinoccial, se encuentra en la zona V del mapa solar según la norma NEC-11, cap14. Por lo que la radiación solar promedio anual en esta zona es alrededor de $5 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{día}$ y el promedio mensual más bajo es de $4650 \text{ Wh}/\text{m}^2/\text{día}$ en mayo.

Por lo que se elige a la energía solar como fuente principal de energía para los sistemas de este proyecto.

3.3 Determinación de la ubicación de las estaciones

3.3.1 Análisis de sombras

Es importante determinar los lugares como mayor radiación solar para las aplicaciones autosustentables fotovoltaicas, es por eso que para este proyecto se ha desarrollado un análisis de sombras que permita determinar una ubicación adecuada de la Micro Estación Meteorológica y de las Estaciones de Información Meteorológica respecto a los lugares con menos luz dentro del campus. Debido a que los dos sistemas deben obtener energía a partir del sol, se ha tomado algunas sugerencias de la Figura 34, la cual son consideraciones para la realización de una instalación solar fotovoltaica (ISFV).



Figura 34. Consideraciones previas en una instalación solar fotovoltaica.

Fuente: (Díaz & Carmona, 2010, p. 74)

Estos análisis se pueden obtener con ayuda de herramientas computacionales para modelado de información de construcción (BIM, Building Information Modeling), en los que

se crean modelos 3D conceptuales de los edificios dentro del campus. Para este proyecto se emplea Formit de Autodesk con licencia Estudiantil.

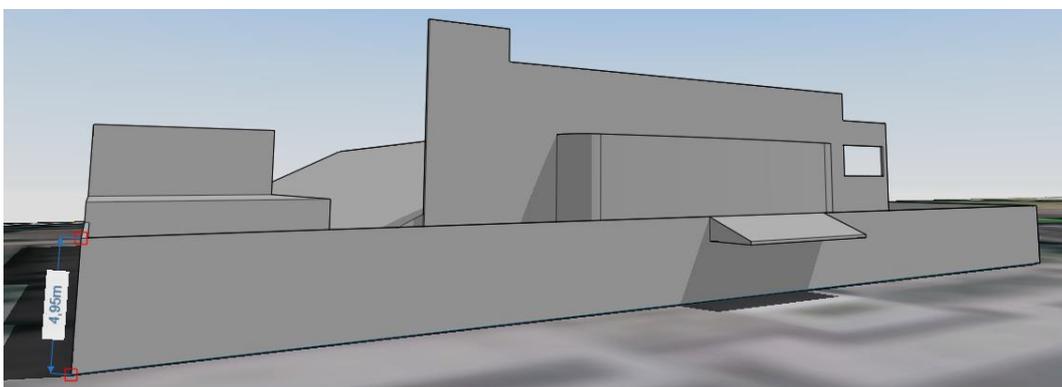
Las alturas de los modelos conceptuales son determinadas en base a las dimensiones de modelos realizados de algunos edificios del campus y la estimación a partir de medidas en cada planta. Algunos de estos se encuentran en el repositorio de Sketchup 3D Warehouse en los modelos del usuario *H. Jonathan Guambi*.

El uso de modelos y estimaciones se hace necesario debido a que la información de las medidas de los edificios, que corresponden a la UFA-ESPE no son públicos.

Se observa en la Figura 35 y la Figura 36 la comparación de alturas y formas de los edificios entre fotos, los modelos conceptuales realizados para este proyecto y los modelos detallados en línea, manteniendo la altura sugerida en este último.



a)



b)



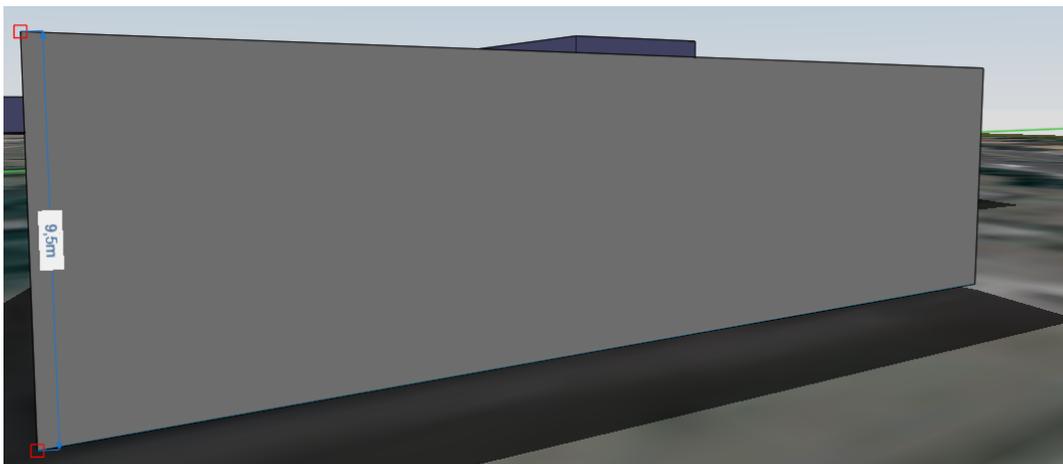
c)

Figura 35. Coliseo ESPE: a) Modelo 3D en Línea. b) Modelo Conceptual. c) Fotografía

Fuente: (Guambi, 2014)



a)



b)



c)

Figura 36. Instituto de Idiomas: a) Modelo 3D en Línea. b) Modelo Conceptual. c) Fotografía

Fuente: (Guambi, 2014)

Finalmente, se realizan los modelos conceptuales de los edificios principales dentro del Campus, tal como se puede observar en la Figura 37.



Figura 37. Modelo 3D conceptual del Campus

3.3.2 Verificación de los modelos conceptuales

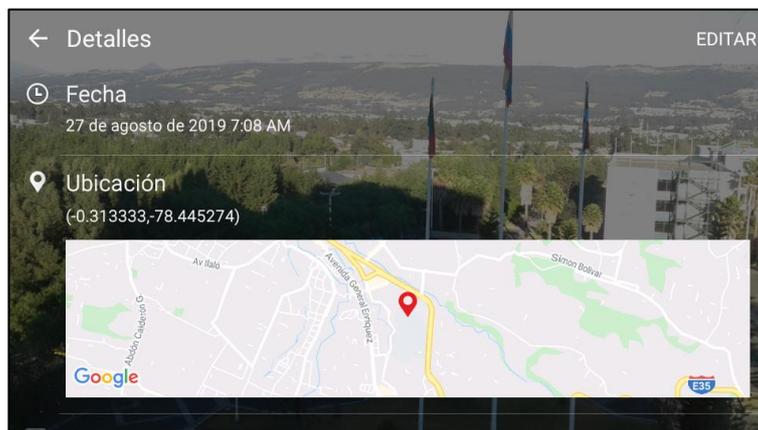
La verificación de los modelos se lo realiza para asegurar que el análisis de sombras en el programa se acerque a la realidad y se pueda utilizar en este proyecto o en trabajos futuros.

El software Formit permite el análisis de la sombra con base en un modelo conceptual o detallado de los edificios. Esta verificación y posterior análisis de sombras se lo realiza en base a los modelos conceptuales presentados en el anterior punto. En la Figura 38 y la Figura

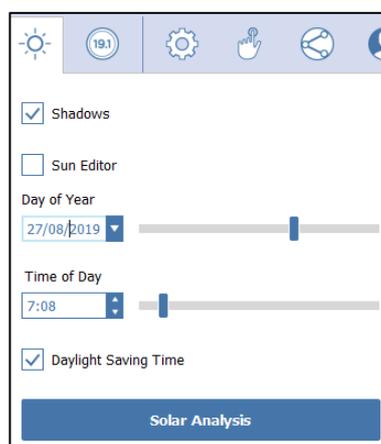
39, se puede ver la comparación de las sombras reales con las sombras simuladas en el programa.



a)



b)



c)

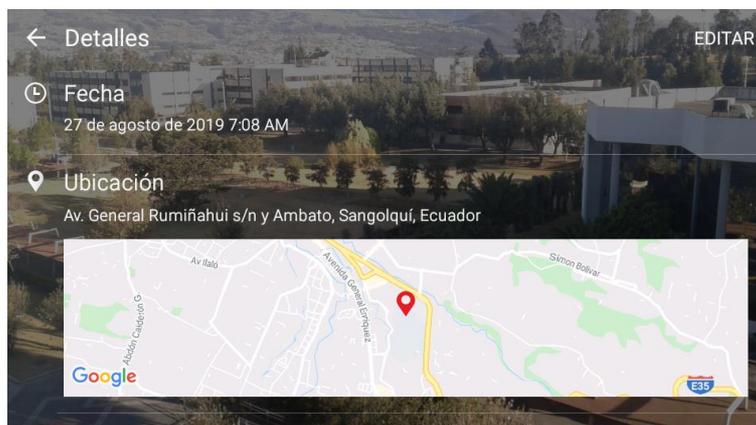


d)

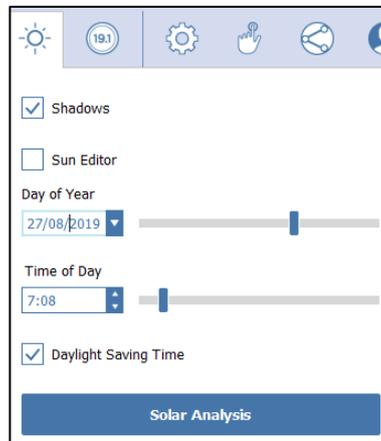
Figura 38. Edificio Administrativo: a) Foto de la sombra. b) Fecha y Ubicación de la Fotografía. c) Configuración de sombras en Formit. d) Sombras del modelo Conceptual



a)



b)



c)



d)

Figura 39. Biblioteca: a) Foto de la sombra. b) Fecha y Ubicación de la Fotografía. c) Configuración de sombras en Formit. d) Sombras del modelo Conceptual

En dichas figuras, se puede notar con líneas rojas aquellas sombras que coinciden con la simulación, las líneas grises representan un cambio de altura y las líneas azules son las sombras del modelo que no coinciden con la fotografía. En estos casos, se puede notar que las sombras coinciden en ángulo y se aproximan en longitud, esto debido a que en la simulación no se considera la vegetación circundante ni la topografía del terreno.

A través de estas comparaciones se puede concluir que las alturas de los modelos conceptuales se aproximan a la realidad y es posible usarlas para generar un bosquejo de las sombras que producen los edificios.

3.3.3 Obtención de sombras anuales

Con un bosquejo de las sombras que los edificios principales generan durante un año, se puede determinar la ubicación adecuada de los sistemas tratados en este proyecto. Para

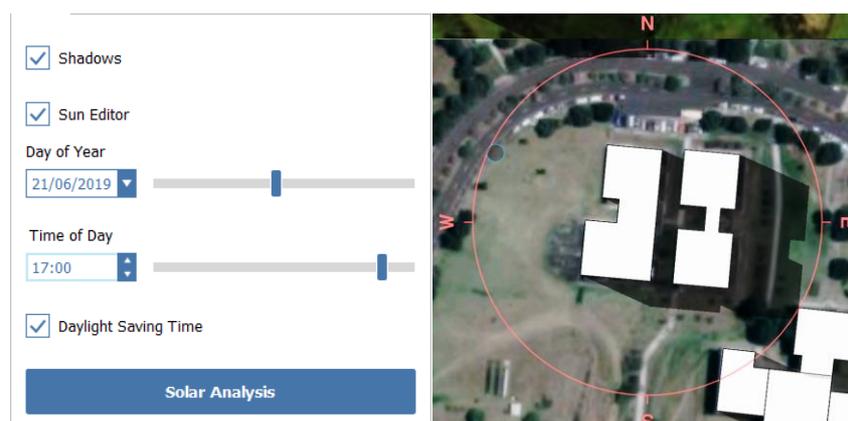
conseguir las sombras durante un año, se debe simular las sombras en fechas y horas específicas y así obtener sombras significativas. Estas horas estarán entre las 7:00 y las 17:00. Las fechas se eligen en base a los equinoccios³ y solsticios⁴, los cuales se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2.
Equinoccios y solsticios solares

Año	Equinoccio	Solsticio	Equinoccio	Solsticio
	Primavera (norte) Otoño (sur)	Verano (norte) Invierno (sur)	Otoño (norte) Primavera (sur)	Invierno (norte) Verano (sur)
2018	20/03	21/06	23/09	21/12
2019	20/03	21/06	23/09	22/12
2020	20/03	20/06	22/09	21/12
2021	20/03	21/06	22/09	21/12
2022	20/03	21/06	23/09	21/12
2023	20/03	21/06	23/09	22/12
2024	20/03	20/06	22/09	21/12
2025	20/03	21/06	22/09	21/12

Fuente: (Diferenciador, 2019)

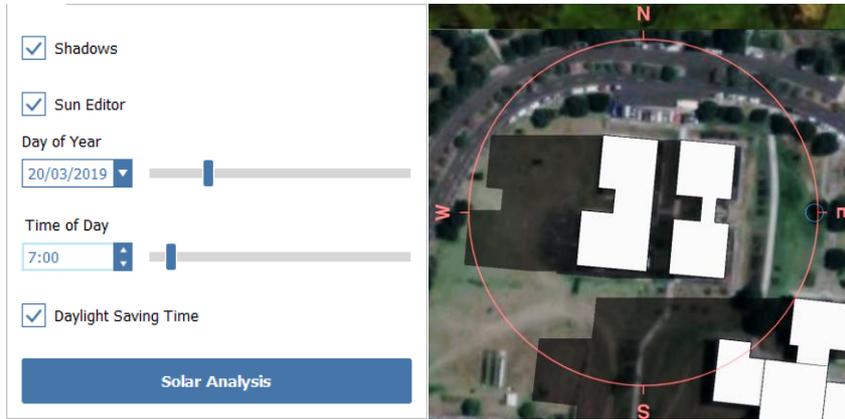
Por lo tanto, las fechas elegidas son: El 21 de junio y el 21 de diciembre para simular sombras grandes y el 20 de marzo para simular un punto medio y determinar una trayectoria.



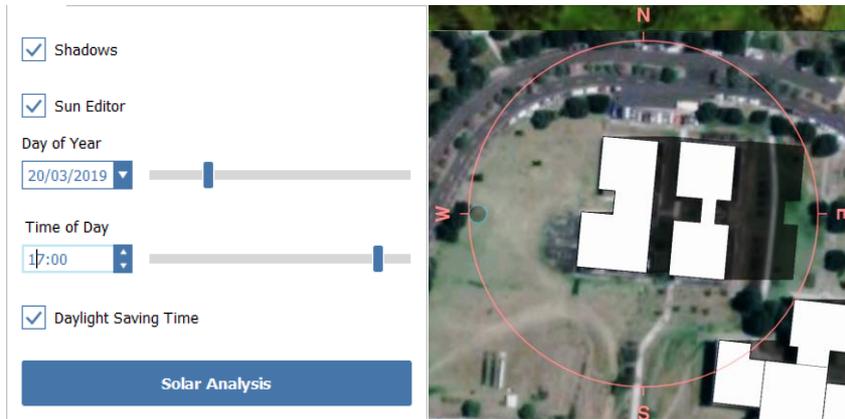
b)

³ Fecha del año cuando la duración del día y de la noche son iguales. La Tierra se encuentra en uno de los puntos más cercanos de su órbita respecto al Sol y éste forma un eje perpendicular con la línea ecuatorial de la tierra.

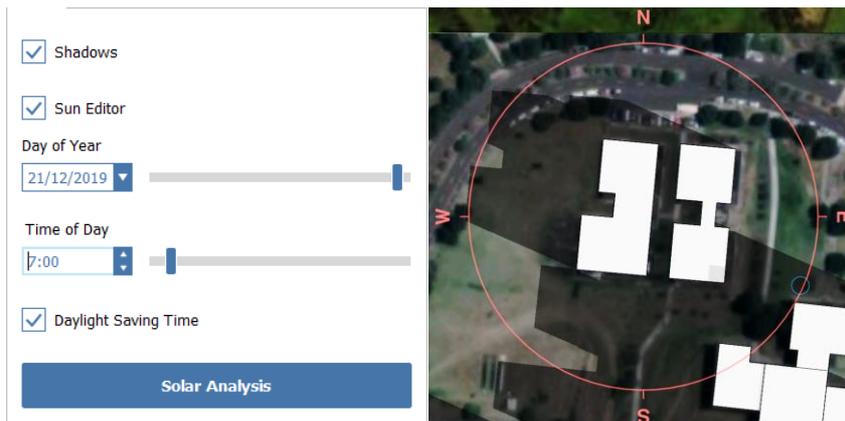
⁴ Al contrario que el Equinoccio, es la fecha del año cuando la duración del día o de la noche son máximas. La Tierra se encuentra en uno de los puntos más alejados de su órbita respecto al Sol y éste no forma un eje perpendicular con la línea ecuatorial de la tierra.



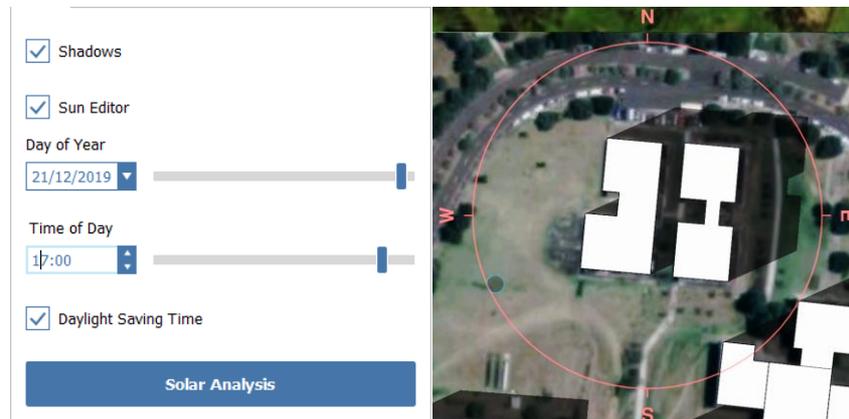
c)



d)



e)



f)

Figura 40. Laboratorios Electrónica y biotecnología:

Solsticio de Invierno: a) 21/06/2019 – 7:00. b) 21/06/2019 – 17:00.

Equinoccio: c) 20/03/2019 – 7:00. d) 20/03/2019 – 17:00.

Solsticio de Verano: e) 21/12/2019 – 7:00. f) 21/12/2019 – 17:00

Las simulaciones en las fechas y horas en un edificio del campus se muestran en la Figura 40. A partir de lo obtenido, se puede completar el análisis de sombras las sombras como se muestra en la Figura 41.



Figura 41. Laboratorios Electrónica y biotecnología: Mapeo de Sombras durante un año

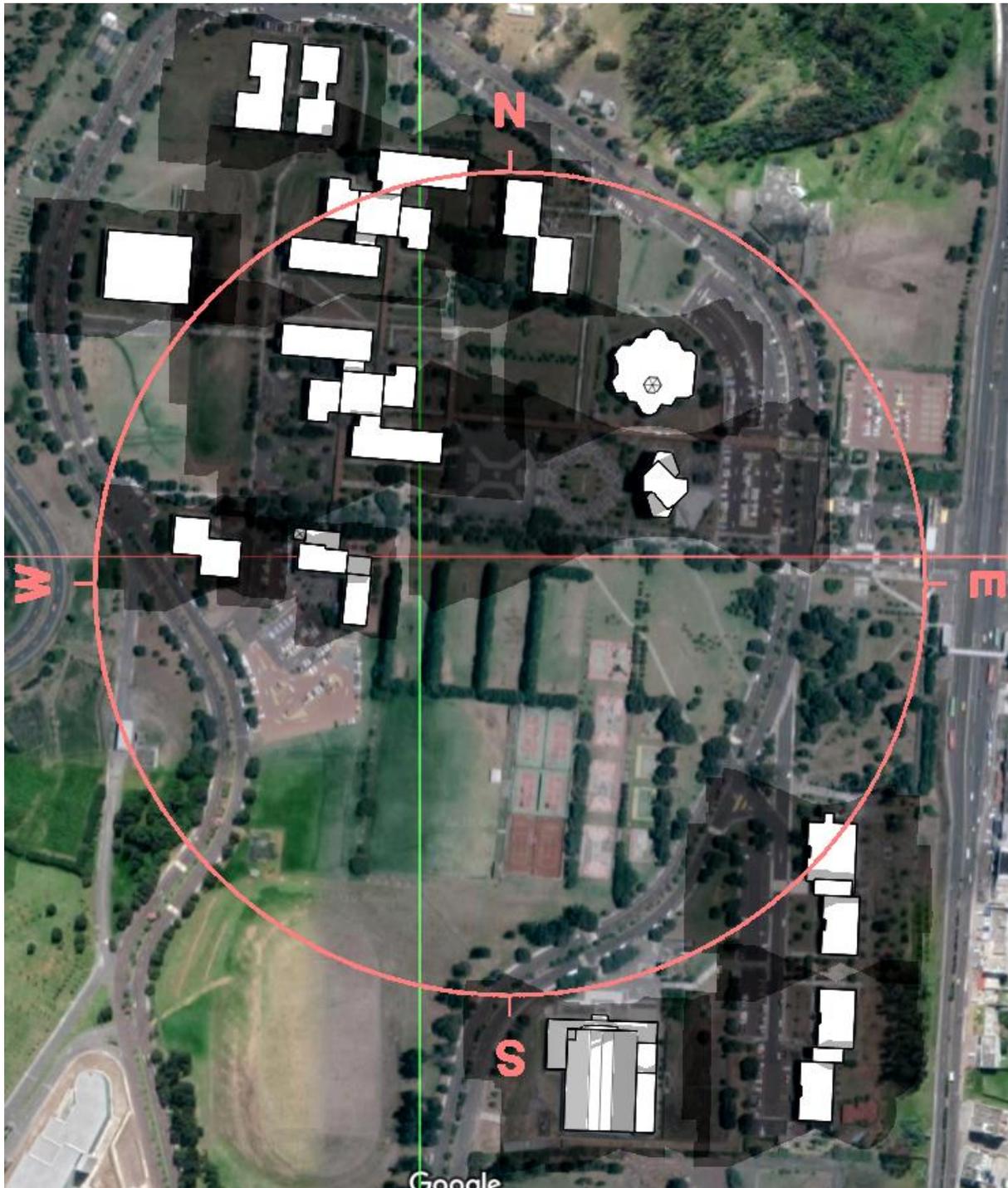


Figura 42. Mapa de sombras dentro del campus durante un año

Se debe tener cuidado con salientes⁵ al norte o sur de los edificios, ya que dependiendo de su tamaño puede causar errores de estimación. Al realizar el mismo proceso y verificando cómo se presenta la trayectoria de la sombra en el software, se puede obtener el mapa de

⁵ Parte de un edificio que sobresale de su estructura principal y de una menor dimensión.

sombras mostrada en la Figura 42, tomando en cuenta el periodo comprendido entre las 7:00 y las 17:00, que servirá en posteriores puntos para la ubicación de los sistemas.

Durante la obtención del mapa de sombras se pudo notar que los puntos más alejados de la sombra proyectada por el edificio, son las que tienen menos duración de sombra debido al movimiento del sol. Los puntos extremos al Este u Oeste de los edificios tienen menos duración en el día. Los puntos extremos al Norte o Sur de los edificios tienen menos duración en el año.

Con ayuda de la Figura 42 se puede observar claramente tres tipos de zonas:

- *Zonas sin sombra:* dependiendo de la topografía y vegetación, se puede obtener hasta diez horas de luz solar diarios.
- *Zonas con una sombra:* dependiendo de cuan alejado este del edificio que proyecta dicha sombra, puede ser el adecuado para posicionar sistemas fotovoltaicos.
- *Zonas con más de una sombra:* son las zonas menos adecuadas para ubicar los dispositivos, debido a que coinciden las sombras de más de un edificio.

Las zonas más adecuadas para posicionar los sistemas tratados en este documento pueden ser zonas sin sombra o con incidencia de una sola sombra.

3.3.4 Análisis de lugares concurridos

Este análisis fue efectuado mediante una encuesta, con la que se determina los lugares donde existe una mayor concentración de personas, y con ayuda del análisis de sombras, se pueda determinar la posición final de las estaciones.

La encuesta fue realizada a 51 personas, esta muestra es significativa para este análisis debido a que la afluencia de personas dentro de la Universidad de Las Fuerzas Armadas - ESPE está establecida por su arquitectura y únicamente se necesita saber la tendencia cualitativa en la movilidad.

Esta encuesta se compone de dos preguntas cerradas esenciales, las cuales son:

- ¿Cuál es la entrada que más utiliza en campus UFA-ESPE Sangolquí?

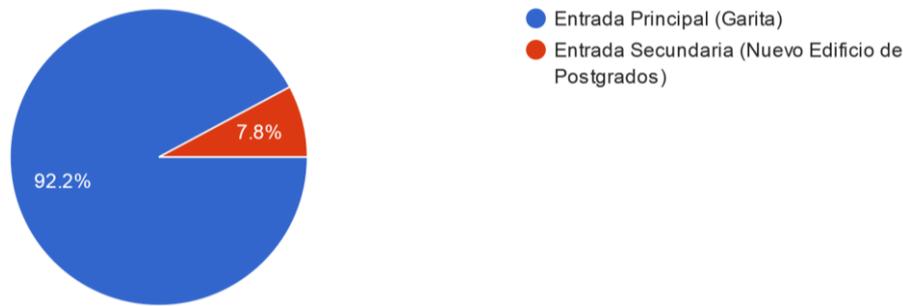


Figura 43. Resultados de la Primera Pregunta de la encuesta

- ¿Cuáles son las áreas descubiertas por donde transita durante el cambio de horas?



Figura 44. Resultados de la Segunda Pregunta de la encuesta

Y de seis preguntas complemento para conocer la situación actual dentro del campus, de las cuales, 5 son preguntas cerradas y la última es una escala de Likert

- ¿Considera que hay suficiente información sobre los niveles de Radiación UV dentro del Campus? Teniendo en cuenta que la radiación UV puede afectar la salud de su piel.

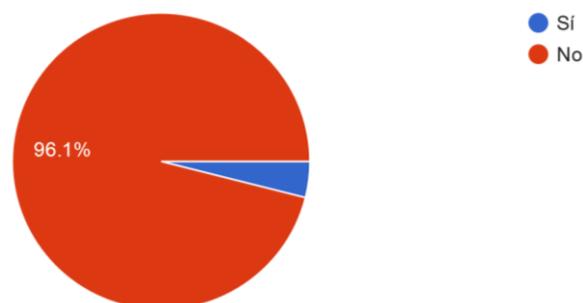


Figura 45. Resultados de la Tercera Pregunta de la encuesta

- ¿Considera que hay suficiente información sobre los niveles de Humedad dentro del Campus? Considerando que es uno de los indicadores para predecir lluvia.

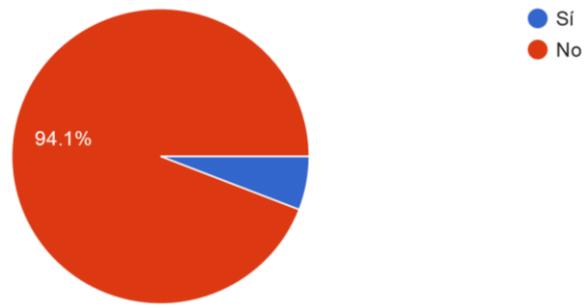


Figura 46. Resultados de la Cuarta Pregunta de la encuesta

- ¿Considera que hay suficiente información sobre los niveles de Temperatura dentro del Campus?

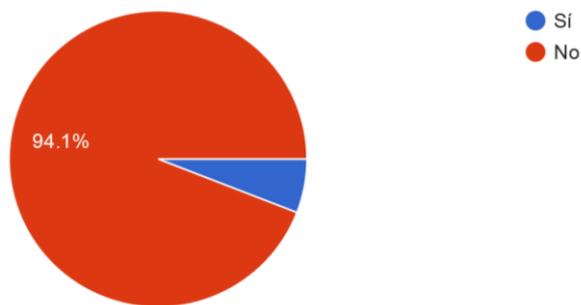


Figura 47. Resultados de la Quinta Pregunta de la encuesta

- ¿Considera que hay suficiente información sobre los niveles de presión atmosférica dentro del Campus? Considerando que un cambio en la presión atmosférica puede dificultar su respiración.

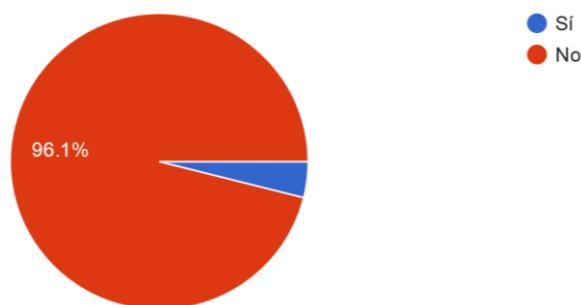


Figura 48. Resultados de la Sexta Pregunta de la encuesta

- ¿Considera que hay suficiente información sobre los niveles de Luminosidad dentro del Campus? Tomando en cuenta el exceso de luminosidad causa fatiga ocular.

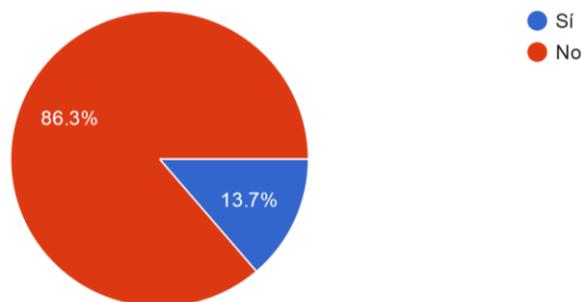


Figura 49. Resultados de la Séptima Pregunta de la encuesta

- ¿Cuán beneficioso consideraría usted la implementación de un sistema de información ciudadana sobre las variables meteorológicas ya mencionadas? Considerando que 1 es poco beneficioso y 5 es muy beneficioso.

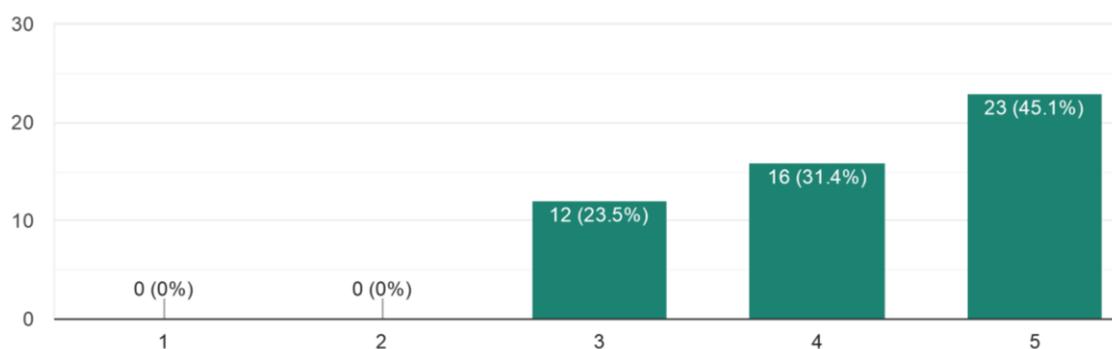


Figura 50. Resultados de la Primera Pregunta de la encuesta

Esta encuesta permite ver que los lugares con mayor afluencia de personas son: La entrada principal de la UFA-ESPE y el área conocida como “La laguna de los Patos” ubicado entre el edificio central y el edificio de la MED.

Las preguntas complemento indican que no hay la información suficiente sobre las variables meteorológicas y que la implementación de este proyecto podría ser beneficioso para el campus.

3.3.5 Ubicación Final de la Micro estación meteorología y las estaciones de información meteorológica

La ubicación de la MEM debe ser un lugar soleado y en un punto central del campus, por lo que se elige la terraza del edificio administrativo en un punto adecuado para su alimentación.

Comparando el mapa de sombras y la encuesta realizada, la ubicación de las EIM serán en la entrada principal del campus y en el área entre el bloque A y el edificio de la MED.

Por lo que las ubicaciones se muestran en la Figura 51.



Figura 51. Ubicación de las Estaciones de acuerdo a las sombras y la encuesta

Se puede notar que hay lugares sin sombra, pero no son elegidos debido a la baja circulación o por obstáculos que generan sombra como pasillos cubiertos, árboles, postes de alumbrado, etc.

3.4 Comparación de las diferentes tarjetas de desarrollo

Para determinar la tarjeta de desarrollo con la que se va a trabajar, se realiza una comparación basada en la revisión de varias tarjetas con arquitecturas de 32 bits (especificado en la sección 2.10), para esta comparación se contemplaron cuatro aspectos fundamentales (Desempeño computacional, periféricos, características eléctricas y precio) detallados en las tablas a continuación:

Tabla 3.*Comparación del desempeño computacional de las tarjetas de desarrollo*

Plataforma	Entorno de desarrollo	Arquitectura del Microcontrolador	Frecuencia de operación	Capacidad de memoria Flash	Capacidad de memoria SRAM
Spark Core V1	Arduino/Micropython	STM32F103CB - ARM 32-bit Cortex M3	72MHz	128KB	20KB
Intel Galileo	Arduino/Intel® XDK IoT Edition	IQuark SoC X1000	400MHz	256MB	512KB
NodeMCU	Arduino/ Lua / Mongose OS / Micropython / ESP-IDF	ESP8266 - Tensilica Xtensa Diamond Standard L106 32-bit	80/160MHz	4MB	80 KB
ESP32 Dev Kit V1	Arduino/ Lua / Mongose OS / Micropython / ESP-IDF	ESP32 - Xtensa dual-core 32-bit LX6 + Ultra low power (ULP) co-processor	160/240MHz	4MB	520 KB
TTGO LoRa32 V1	Arduino/ Lua / Mongose OS / Micropython / ESP-IDF	ESP32 - Xtensa dual-core 32-bit LX6 + Ultra low power (ULP) co-processor	160/240MHz	4MB	520 KB
Arduino Nano 33 IoT	Arduino	Microchip Atmel SAMD21 Cortex-M0+ 32bit low power ARM MCU	48MHz	256KB	32KB
Arduino MKR WAN1310	Arduino	Microchip Atmel SAMD21 Cortex-M0+ 32bit low power ARM MCU	48MHz	256KB (Interna) y 2MByte (Externa)	32KB

Tabla 4.*Comparación de los periféricos de las tarjetas de desarrollo*

Plataforma	Comunicación				Entrada/Salida	
	WiFi	LoRa	I2C	SPI	GPIO	ADC
Spark Core V1	IEEE 802.11 b/g	N/A	1 bus	1 interfaz	18	1 canal - 8 pines - 12 bit
Intel Galileo	N/A	N/A	1 bus	1 interfaz	20	1 canal - 6 pin - 10 bit
NodeMCU	IEEE 802.11 b/g/n	N/A	1 bus	1 interfaz	17	1 canal - 1 pin - 10 bit
ESP32 Dev Kit V1	IEEE 802.11 b/g/n/e/i	N/A	2 buses	3 interfaces	34	2 canales - 15 pin - 10/12 bit SAR
TTGO LoRa32 V1	IEEE 802.11 b/g/n/e/i	433/868/915 MHz	2 buses	3 interfaces	34	2 canales - 15 pin - 10/12 bit SAR
Arduino Nano 33 IoT	IEEE 802.11 b/g/n	N/A	1 bus	1 interfaz	30	1 canal - 8 pin - 8/10/12 bit
Arduino MKR WAN1310	N/A	433/868/915 MHz	1 bus	1 interfaz	22	1 canal - 8 pin - 8/10/12 bit

Tabla 5.

Comparación de las características eléctricas de las tarjetas de desarrollo

Plataforma	Características eléctricas						
	Voltaje [V]		Corriente [mA]		Voltaje de nivel lógico [V]	Corriente por GPIO [mA]	
	Min	Max	Min	Max		Min	Max
Spark Core V1	3,6	6	50	300	3,3	8	20
Intel Galileo	7	15	-	800	3,3/5	10	25
NodeMCU	2,5	3,6	-	80	3,3	-	12
ESP32 Dev Kit V1	2,3	3,6	-	~300	3,3	20	40
TTGO LoRa32 V1	2,3	3,6	-	~300	3,3	20	40
Arduino Nano 33 IoT	1,62	3,63	-	-	3,3	-	7
Arduino MKR WAN1310	1,62	3,63	-	-	3,3	-	7

Tabla 6.

Comparación precio de las tarjetas de desarrollo

Plataforma	Precio
Spark Core V1	\$ 19.00 + Aproximado \$50 (Envío e Impuestos)
Intel Galileo	\$ 101,92 + Aproximado \$50 (Envío e Impuestos)
NodeMCU	\$8.00
ESP32 Dev Kit V1	\$13.00
TTGO LoRa32 V1	\$45.00
Arduino Nano 33 IoT	\$18.00 + Aproximado \$50 (Envío e Impuestos)
Arduino MKR WAN 1310	\$37.95 + Aproximado \$50 (Envío e Impuestos)

Dado que el desarrollo IoT en el Ecuador es relativamente nuevo, el mercado no dispone de todas estas tarjetas detalladas pese a que son las más destacadas según las fuentes consultadas. El hecho de que no se encuentren las tarjetas en el país hace necesario la importación de las tarjetas, por lo que, en base a diferentes portales de compras online como *Amazon, Adafruit o Sparkfun*, se puede determinar el precio unitario de las tarjetas, a lo que se adiciona un costo de envío internacional de alrededor de 50 dólares incluyendo impuestos; el valor promedio se obtuvo a partir de las consultas realizadas en noviembre de 2019.

Tras un análisis de la Tabla 3, 4, 5 y 6, se determina que el *TTGO LoRa32 V1* al contar con una frecuencia de operación de hasta 240MHz, memoria flash de 4MB y SRAM de 520KB

tiene un alto desempeño computacional, la densidad de periféricos en esta opción es la más alta de todas y las características eléctricas de operación junto con el coprocesador de bajo consumo ULP, hacen que el dispositivos se ajuste a las medidas de potencia para lograr auto sustentabilidad.

Dado que soluciones más robustas como el *Intel Galileo*, requieren integrar LoRa como accesorio, incrementa más el precio final del dispositivo. En el caso del *Arduino MKR WAN 1310* no cuenta con WiFi, el cual es indispensable para implementar un servicio a nube y servidores embebidos locales.

Además, la facilidad de que todo está integrado en una sola tarjeta de desarrollo hace que sea una selección óptima para el presente proyecto, debido a la relación de costo/beneficio.

3.5 Análisis de sensores meteorológicos compatibles

Para que la MEM pueda realizar mediciones aceptables y de forma sustentable, se realiza una comparación entre sensores relacionados con las variables meteorológicas de interés. En la Tabla 7, 8 y 9 se detallan características generales, así como específicas de acuerdo a la variable, la compatibilidad con el Sistema en Chip (por sus siglas en inglés SoC) ESP32 y que se ajuste a las medidas de bajo consumo energético.

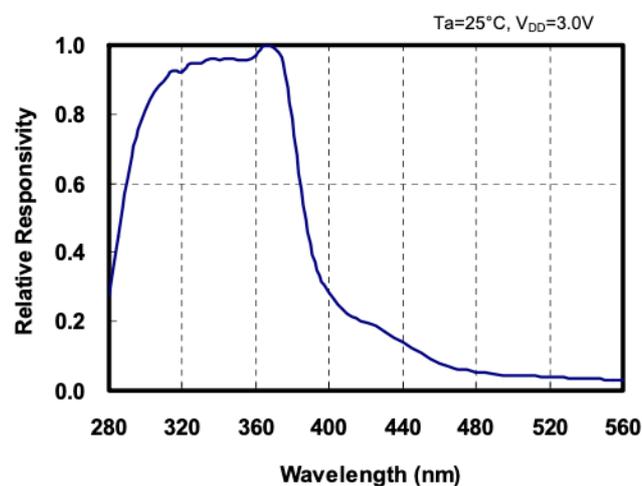


Figura 52. Respuesta espectral ML8511, en función de la longitud de onda.

Fuente: (LAPIS semiconductor, 2013)

Tabla 8.
Comparación entre sensores para Radiación UV

Características	ML8511	GUVA-S12SD
		
	Sensor de radiación UV	Sensor de radiación UV
Generales		
Voltaje de Operación [V]	2,7 a 3,6	2,7 a 3,6
Corriente de Operación	5 mA	1 mA
Tiempo de Sensado	1ms	Analógico
Comunicación	N/A	N/A
Radiación UV		
Rango	280 a 390 nm	240 a 370 nm
Resolución	Función de respuesta ML8511	Función de respuesta GUVA-S12SD
Precisión	±0,05 V	-

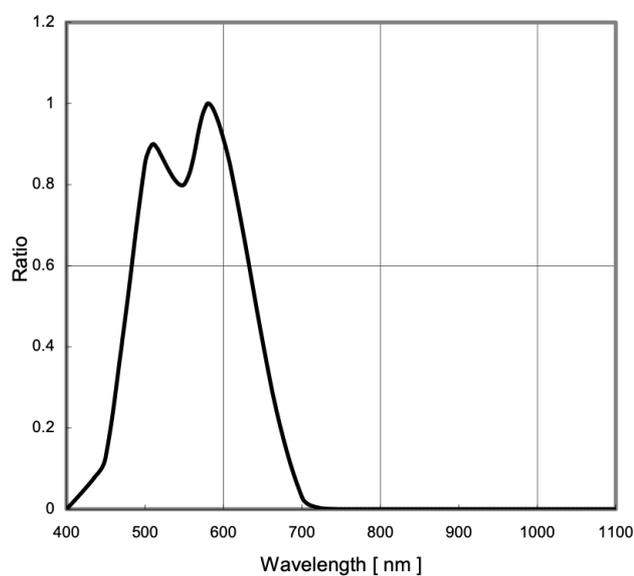


Figura 53. Respuesta espectral GUVA-S12SD, en función de la longitud de onda

Fuente: (Roithner LaserTechnick, 2011)

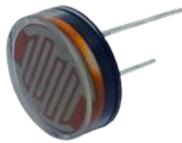
Después de analizar la Tabla 7, 8, 9 y 10 y tomando en cuenta las sugerencias técnicas de la WMO, así como la disponibilidad en tiendas electrónicas del Ecuador se elige a los sensores:

- El *BME280*, debido a que condensa en un solo encapsulado tres sensores sin sacrificar mayormente la precisión y el rango de medición, se lo utiliza como sensor

de Temperatura que cubre un rango de 10 a 26°C, Humedad con un rango cubierto de 40 a 100% y Presión en un rango 758 a 762 hPa.

- El *ML8511*, que ofrece un rango de medición que abarca las longitudes de onda UVA y UVB se selecciona como sensor de Radiación UV en el rango de 0 a 1100 w/m^2 .
- El *BH1750FVI*, ofrece una adquisición de datos más precisa frente a un LDR⁶ acondicionado, dado que cuenta con un ADC de 16 bits en el encapsulado del sensor, por eso se le considera una buena opción para medir Iluminación ambiental en el rango 1 lx (luna llena o noche despejada) a 65535 lx (luz directa del sol).

Tabla 9.
Comparación entre sensores para Iluminación

Características	LDR	BH1750FVI
		
	Sensor de Intensidad de Luz	Sensor de Intensidad de Luz
Generales		
Voltaje de Operación	Voltaje del divisor	2,4 a 3,6
Corriente de Operación	Corriente del divisor	7mA
Tiempo de Sensado	Analógico	120ms
Comunicación	N/A	I2C
Iluminación		
Rango	Definido por divisor	1 a 65535 lx
Resolución	Definido por divisor	0,5 lx
Precisión	Definido por divisor	±0,96 %

⁶ Los sensores de tipo Light Dependent Resistance o LDR dependen de una configuración de divisor de voltaje para funcionar, por lo tanto, el comportamiento, corriente y la respuesta están en función de los parámetros seleccionados por el diseñador.

Tabla 10.
Precio Sensores

Sensor	Variable	Precio
LM35	Temperatura	\$1,35
Termocupla K (MAX667)	Temperatura	\$9,00
DHT11	Temperatura y humedad	\$2,00
DHT22	Temperatura y humedad	\$7,00
BMP180	Presión	\$3,00
BME280	Temperatura, presión y humedad	\$10,00
ML8511	Radiación UV	\$8,00
GUVA-S12SD	Radiación UV	\$13,00
LDR	Intensidad de Luz	\$1,00
BH1750FVI	Intensidad de Luz	\$7,00

Al aplicar la teoría básica de circuitos eléctricos en la ecuación (2), la potencia total consumida por los sensores de bajo consumo seleccionados es el resultado de la suma de los consumos parciales de cada sensor.

$$P_{\text{Sensores}} = P_{\text{BME280}} + P_{\text{ML8511}} + P_{\text{BH1750FVI}} \quad (2)$$

$$P_{\text{Sensores}} = (3,3 \times 8,2 \times 10^{-6}) + (3,3 \times 5 \times 10^{-3}) + (3,3 \times 7 \times 10^{-3})$$

$$P_{\text{Sensores}} \approx 39,62[mW]$$

3.6 Comparación y selección de pantalla

Con el objetivo de lograr mejor autonomía de la EIM, se compara entre diferentes opciones de pantallas compatibles con ESP32, en función de sus características eléctricas, generales y precio.

Tabla 11.
Características eléctricas de pantallas

Pantalla	Voltaje	Corriente
Nextion HMI	5V	2A
Monitor LED IPS	110 VAC - 19V DC	0,84A
Panel LED 32x16 P10 RGB	5V	Depende del color (0,4A máx)

Aunque un monitor LED IPS parece buena opción, no se recomienda para un proyecto con enfoque autosustentable pues emplea alimentación AC de fábrica y para acoplarlo a DC,

implica intervenir en las especificaciones del fabricante o adquirir un inversor lo cual genera pérdidas e incrementa costos.

Tabla 12.

Características generales de pantallas

Pantalla	Interfaz de conexión	Resolución	Peso	Área Visual	Grado de Protección
Nextion HMI	Serial	800 x 480	340 g	181 x 108 mm	-
Monitor LED IPS	VGA	1366 x 768	2000g	468,8 x 276,4 mm	-
Panel LED 32x16 P10 RGB	SPI	32x16	700 g	320 x 160 mm	IP54

Tabla 13. *Precios de pantallas*

Pantalla	Precio
Nextion HMI	\$ 110,00
Monitor LED IPS	\$ 90,00
Panel LED 32x16 P10 RGB	\$ 40,00



Figura 54. Panel LED RGB 32x16

Fuente: (Burguess, 2019)

La selección para el proyecto es el panel P10, que permite un control más amplio sobre el consumo de potencia como se puede ver en la Figura 55, tiene protección IP54⁷ para uso en

⁷ El grado de protección IP54 según la normativa internacional IEC 60529 implica que se tiene “Protección contra el contacto entre las piezas móviles interiores y el ingreso de polvo. El ingreso no se previene completamente, pero el polvo no puede penetrar en tales cantidades que puedan afectar al funcionamiento correcto del mismo” y “Las salpicaduras de agua desde cualquier dirección, no deben de causar daños al interior”.

exteriores, permite la expansión de la pantalla y tiene la mejor relación costo beneficio entre las opciones comparadas.

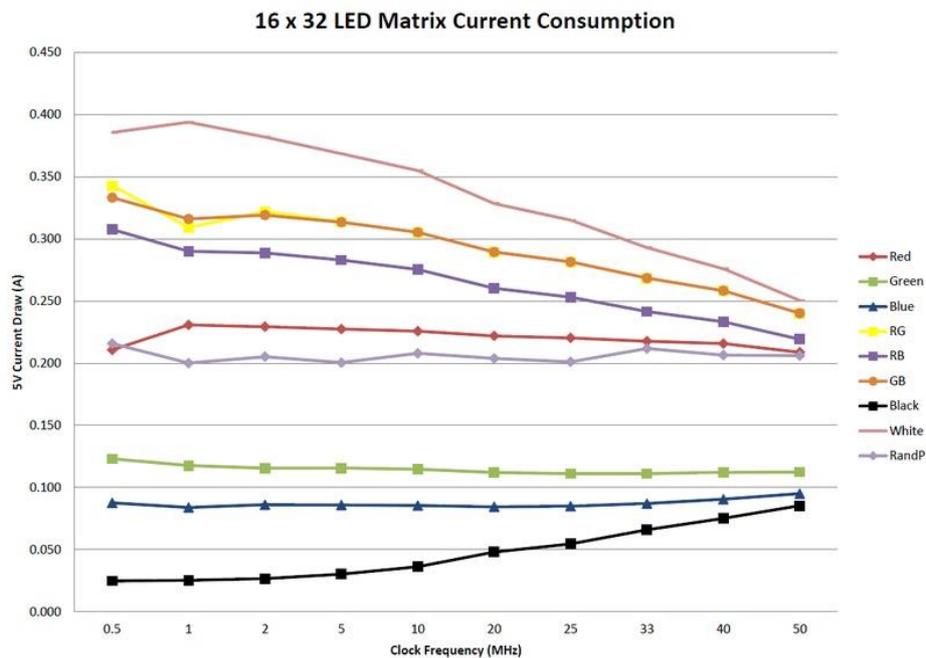


Figura 55. Consumo de panel LED RGB 32x16

Fuente: (Burguess, 2019)

3.7 Metodología para realizar la Instalación solar fotovoltaica (ISFV)

Para dimensionar el generador fotovoltaico, controlador de carga, batería, cableado y soporte se ha tomado como referencia la metodología de diseño de una instalación solar fotovoltaica descrita por Díaz & Carmona (2010) y con las consideraciones de la Norma Ecuatoriana de Construcción NEC-11, Cap. 14 Energías Renovables (Comité Ejecutivo de la NEC, 2011), en estos dos textos la nomenclatura de las variables son diferentes, pero el objetivo de los cálculos es igual.



Figura 56. Metodología para la realización de una instalación solar fotovoltaica.

Fuente: (Díaz & Carmona, 2010, p. 74)

3.7.1 Ubicación de los equipos

Como se mencionó en la sección 3.3.4, las EIM se encontró como los mejores puntos para ubicar los equipos están en las áreas cerca de la entrada principal del campus y en el área entre el bloque A y edificio MED, por otro lado para la MEM se encontró como mejor punto en la terraza del Edificio Administrativo. Además, los paneles deben contar con un ángulo de inclinación cercana a 10° para que no se acumule suciedad y cumpla la norma NEC-11, cap14.

3.7.2 Determinación del consumo eléctrico

Para el consumo eléctrico, se debe realizar la sumatoria de las potencias nominales de todos los dispositivos a partir de las hojas de datos. También se puede realizar mediciones a los sistemas en pleno funcionamiento para dimensionar el sistema fotovoltaico al consumo real de las cargas.

3.7.3 Elección de la tensión de trabajo y tipo (AC o DC)

Este proyecto cuenta únicamente con elementos de DC, por tanto, la tensión de trabajo debe ser DC. Para fijar la tensión nominal de la instalación se debe tomar en cuenta el tipo de instalación en función de la potencia según Díaz & Carmona (2010, p. 59)

- Instalación pequeña menor a 3kW: Utilizar 12V o 24V
- Instalación grande mayor a 3kW: Utilizar 24V o 48V

El consumo de las estaciones es menor a los 2 watts, así que se usa una tensión de 12V.

3.7.4 Autonomía de la instalación

- **Micro estación meteorológica**

La información debe entregarse de forma continua durante toda la semana por tanto su autonomía debería ser de al menos 7 días.

- **Estación de información**

Dado que el proyecto está orientado a un campus universitario se espera un funcionamiento de 4 días de autonomía.

3.7.5 Dimensionamiento de la instalación

1) Ángulo de elevación

En la norma *NEC-11, Cap. 14* se especifica:

“El campo de colectores debe tener una inclinación mínima de 5° y máxima de 15° y es recomendable la orientación hacia la línea equinoccial.” (Comité Ejecutivo de la NEC, 2011).

2) Radiación media mensual con ángulo de inclinación

Se utiliza:

$$G_{dm}(\beta) = \bar{H}_T = k \cdot \bar{H} [Wh/(m^2 \text{ día})] \quad (3)$$

Donde:

β es el ángulo óptimo para la instalación de los paneles

$G_{dm}(\beta)$ o \bar{H}_T es la media mensual de radiación diaria sobre superficie inclinada⁸ en el peor mes, medido en $[kW \cdot h/m^2 \cdot día]$

\bar{H} es la media mensual de radiación sobre una superficie horizontal diaria en $[kW \cdot h/m^2 \cdot día]$

k se escoge entre tablas detalladas en el ANEXO1 de (Norma Ecuatoriana de Construcción NEC-11, 2011, p. 81)

A partir de este valor, se puede obtener el número de horas diarias de sol usando la ecuación (4):

$$HS = \frac{\bar{H}_T}{1000} \left[\frac{Wh/(m^2 \text{ día})}{Wh/m^2} \right] \quad (4)$$

3) Rendimiento global del generador

En la NEC-11, cap.14 se determina la metodología para el cálculo del Rendimiento Global del Sistema (PR) y se calcula con la fórmula siguiente:

$$PR = \eta_{temp} \cdot \eta_{suc} \cdot \eta_{reg} \cdot \eta_{cab} \cdot \eta_{bat} \cdot \eta_{aut} \cdot \eta_{inv} \quad (5)$$

Para determinar el rendimiento de la temperatura η_{temp} , la norma sugiere el siguiente calculo:

$$\eta_{temp} = 1 - C_T(T_C - 25) \quad (6)$$

$$T_C = T_a + 1,25(NOCT - 20) \quad (7)$$

$$C_T = \Delta I_{SC,T} \cdot \Delta V_{OC,T} \quad (8)$$

Donde:

T_C es la temperatura de la celda a una irradiación de $1000[W/m^2]$ en $^{\circ}C$

⁸ La nomenclatura empleada para las variables varía entre los autores (Díaz & Carmona, 2010) y (Comité Ejecutivo de la NEC, 2011) pero el objetivo del cálculo es el mismo.

T_a es la temperatura ambiente en $^{\circ}C$

$NOCT$ valor especificado por el fabricante, si no está disponible se asume $45^{\circ}C$

$\Delta I_{SC,T}$ es la variación de la corriente de cortocircuito del panel por funcionamiento a temperaturas diferentes de los estándares de prueba

$\Delta V_{OC,T}$ es la variación del voltaje de cortocircuito del panel por funcionamiento a temperaturas diferentes de los estándares de prueba

C_T es el coeficiente de variación de la potencia por funcionamiento a temperaturas diferentes de los estándares de prueba, en caso de no disponer de ese dato se asume 0,005

El resto de parámetros se determinan de acuerdo a las siguientes consideraciones:

- El rendimiento por efectos de suciedad η_{suc} no debe ser inferior a 2%
- El rendimiento por pérdida en los cables η_{cab} debe cumplir lo dispuesto en la normativa.
- Los rendimientos del controlador o regulador η_{reg} , banco de baterías η_{bat} e inversor η_{inv} , deben ser tomados de las hojas técnicas de los proveedores.
- El rendimiento debido a las pérdidas por auto descarga⁹ del banco de baterías η_{aut} no debe ser inferior a 1%

4) Potencia necesaria del generador

Según la NEC-11, cap14. Para determinar la potencia del generador se debe utilizar la ecuación (9):

$$P_{G \text{ nominal}} = \frac{\text{Demanda energética}}{HS * PR} [W] \quad (9)$$

5) Factor de Seguridad

⁹ “Autodescarga es el proceso mediante el cual la capacidad de almacenamiento de energía disponible de una batería se reduce a causa de reacciones químicas parásitas internas y de la resistencia interna de la misma. Dicho proceso se acelera al aumentar la temperatura ambiental” (Comité Ejecutivo de la NEC, 2011).

El factor de seguridad es un parámetro que nos permite sobredimensionar los cálculos del panel fotovoltaico para que un sistema asegure su autonomía, por lo general se asume valores entre 1,1 a 1,4 y corresponde a la ecuación (10):

$$F_{SG} = \frac{E_{producida}}{E_{demandada}} = \frac{P_{G\ nominal} \left(\frac{G_{dm}(\beta)}{I_{STC}} \right)}{L_{dm}} \quad (10)$$

Donde:

β es el ángulo óptimo para la instalación de los paneles.

$G_{dm}(\beta)$ es la radiación para el “peor” mes con el ángulo de inclinación de los paneles

I_{STC} es la irradiancia en condiciones estándares de medida (STC por sus siglas en inglés) o radiación instantánea, su valor es 1000 [W/m^2].

L_{dm} es el consumo medio estimado de energía en [$W \cdot h$].

$P_{G\ nominal}$ es la potencia pico del generador fotovoltaico [W_p].

Al realizar los respectivos cálculos entre la ecuación (9) y (10), se obtiene que:

$$F_{SG} = \frac{1}{PR} \quad (11)$$

6) Número de paneles y configuración

Se calcula a partir de la potencia demandada por el generador fotovoltaico y la potencia nominal del panel considerando opciones las especificaciones de los fabricantes.

$$N_p = \frac{P_{G\ nominal}}{\text{Potencia pico del panel}} \quad (12)$$

7) Capacidad de la batería

Para este propósito se debe considerar los días de autonomía del sistema de acumulación, lo recomendado está entre 3 a 8 días.

$$C_{bat} = \frac{\text{Demanda energética} * \text{días de autonomía}}{PdD * \text{Voltaje del sistema}} [Ah] \quad (13)$$

Donde:

PdD es la profundidad máxima de descarga.

8) Número de baterías y configuración

El arreglo y el número dependen de la oferta comercial.

9) Pérdidas eléctricas en el cableado debido a las caídas de tensión

Las consideraciones para las pérdidas en los cables son tomadas de la norma NEC-11 donde se establece para que:

“El calibre de los diferentes conductores se debe ceñir a los requerimientos eléctricos de ampacidad, caída de voltaje y seguridad en cada parte del sistema. Los cables internos de los paneles fotovoltaicos que salen desde la caja de conexión, deberán cumplir con al menos una de las normas: Código Eléctrico Ecuatoriano, NEC 2008 / UL Type PV, UL 4703, USE-2, UNE 21123, UNE 20.460-5-52, UTE C 32-502.

Los cables externos deberán ser aptos para operar a la intemperie según el Código Eléctrico Ecuatoriano, o la norma internacional IEC 60811”

(Comité Ejecutivo de la NEC, 2011, p. 49)

Tomando estas estas directrices y las especificaciones de los cables y las pérdidas máximas detalladas en el la sección 14.2.4.7.2. Especificaciones de la norma NEC-11 (Comité Ejecutivo de la NEC, 2011, p. 50) se procede a hallar la sección de cable:

1. Obtener corriente por el cable con $P = VI$
2. Obtener caída porcentual deseada, ejemplo: $11V \rightarrow 3\% = 0,33V$
3. Obtener resistencia con $V = IR$
4. Hallar la sección del cable (se necesita la distancia y la resistividad del cable)

despejando de:

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (14)$$

10) Elección del controlador de carga para la instalación

$$I_{G \text{ máx}} = N_p \cdot I_{SC}$$

Donde:

N_p es el número de paneles de la instalación.

I_{SC} es la corriente de corto circuito, dado en las hojas de datos del panel fotovoltaico.

$I_{G \text{ máx}}$ es la corriente de carga máxima del controlador.

CAPÍTULO IV: INGENIERÍA DE DETALLE

4.1 Detalle de componentes de los sistemas electrónicos

Una vez elegidos los diferentes componentes de los dispositivos y teniendo en cuenta los diagramas de bloques de la MEM y EIM en la Figura 57 y 58 respectivamente, se describe cada elemento de forma detallada

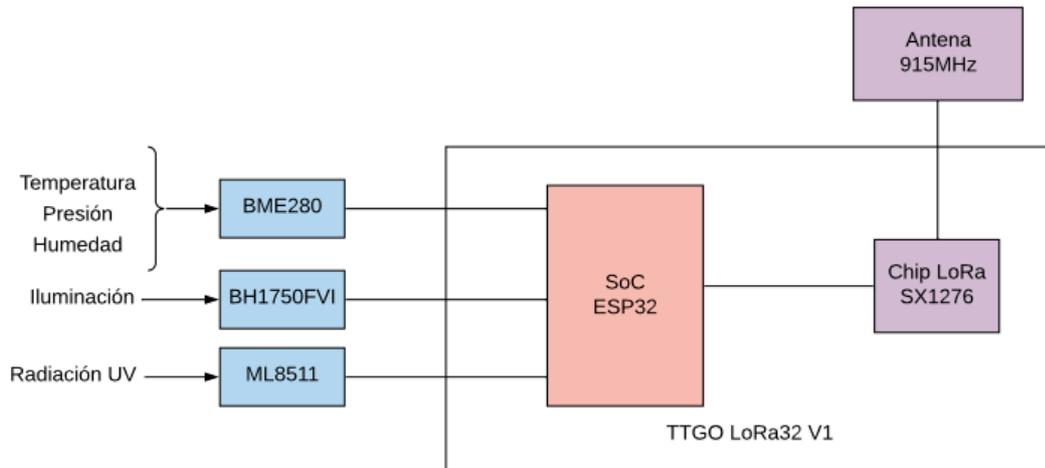


Figura 57. Diagrama de bloques general de la MEM

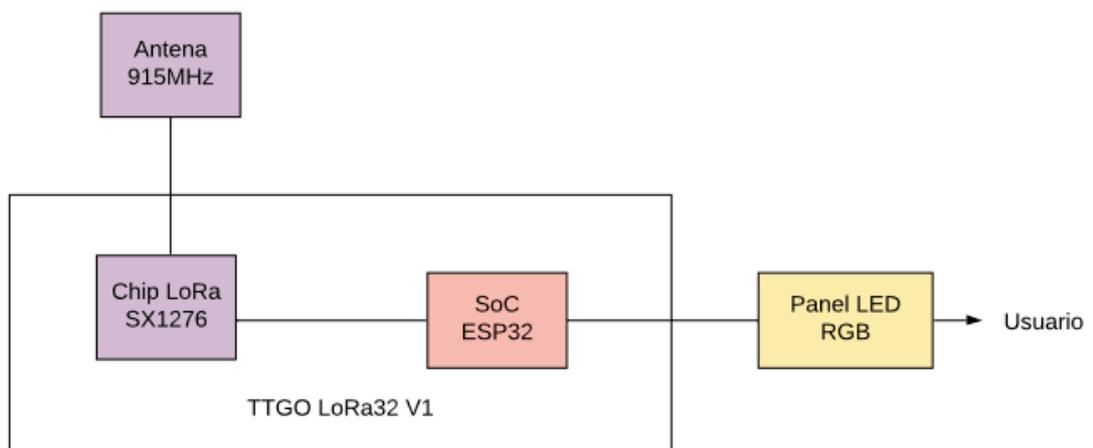


Figura 58. Diagrama de bloques general de la EIM

4.1.1 Sensor BME280

El sensor BME280 es un sensor que combina la medición digital de temperatura, presión y humedad combinado en un chip encapsulado de matriz de contactos en rejilla o (LGA

por sus siglas en inglés) de $2.5 \times 2.5 \text{ mm}^2$ y 0.93 mm de altura; dado que es un dispositivo miniaturizado, el consumo energético de este es bajo, siendo ideal para aplicaciones que dependen de una batería. Cuenta con comunicación SPI e I²C, y puede ser alimentado con voltajes de 1,71 a 3,6 V para el sensor y para la comunicación con voltajes de 1,71 a 3,6 V.

El sensor cuenta con tres modos de operación:

- Modo sueño (sleep): No opera, todos los registros están accesibles, emplea la más baja potencia y debe ser seleccionado.
- Modo normal (normal): Realiza mediciones de forma perpetua con ciclos de medición e inactividad.
- Modo forzado (forced): Ejecuta una lectura, guarda los resultados y regresa al modo sueño.

Ya que se emplea Arduino para programar el microcontrolador ESP32 se puede emplear la librería “Adafruit BME280”. En esta librería se tiene la opción de configuración de modo, sobre-muestreo (oversampling), uso de filtro IIR, y tiempo para modo de espera.

4.1.1.1 Temperatura

Según las mediciones de la estación meteorológica “Los Chillos” de INAMHI la temperatura oscila entre 10°C y 26°C.

Si se mide únicamente la temperatura a 1Hz y en modo forzado consume 1μA.

Los rangos de precisión del sensor son:

Tabla 14.

Rangos de temperatura para BME280

Rango	Precisión
25 °C	±0.5
0 a 65 °C	±1.0
-20 a 0 °C	±1.25
-40 a - 20 °C	±1.5

- Resolución de salida 0.01 °C

- Presenta un ruido de $0.005\text{ }^{\circ}\text{C}$

El valor de temperatura depende de la placa PCB debido a los elementos del sensor y de la placa que disipan calor; habitualmente este valor es superior a la temperatura ambiente.

4.1.1.2 Presión

Según las mediciones de la estación meteorológica “Los Chillos” de INAMHI la presión oscila entre 750hPa y 770 hPa.

El rango de presión en el que opera el sensor es desde 300 hasta 1100 hPa para entregar medidas de presión absoluta.

Si se mide la presión y temperatura a 1Hz y en modo forzado típicamente consume $2.8\ \mu\text{A}$ y como máximo $4.2\ \mu\text{A}$.

Los rangos de precisión del sensor para presión son:

Tabla 15. Rangos de presión para BME280

Rango	Precisión
300 a 1100hPa/ -20 a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\pm 1.7\ \text{hPa}$
300 a 1100hPa/ 0 a $65\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\pm 1.0\ \text{hPa}$
1100 a 1250hPa/ 25 a $40\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\pm 1.5\ \text{hPa}$

Con una alimentación en $\text{VDD} = 3,3\text{V}$ 700 a $900\text{hPa}/25$ a $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ da una precisión de $\pm 0.12\ \text{hPa}$

- Resolución de salida $0.18\ \text{Pa}$.
- Sin filtrar y configuración de sobre muestreo máximo, puede presentar un ruido de $1.3\ \text{Pa}$.
- Con filtro y configuración de sobre muestreo máximo, puede presentar un ruido de $0.2\ \text{Pa}$.
- Su estabilidad de largo plazo es de $\pm 1.0\ \text{hPa}$ por año.

4.1.1.3 Humedad Relativa

El rango de humedad relativa en el que opera el sensor es desde 0 hasta 100 %.

Si se mide la humedad relativa y temperatura a 1Hz y en modo forzado típicamente consume $1.8 \mu A$ y como máximo $2.8 \mu A$.

4.1.2 Sensor de radiación solar ML8511

El sensor ML8511 permite captar radiación ultra violeta UV-A y UV-B tanto en interiores, como en exteriores, cuenta con un amplificador operacional propio para poder entregar la información recibida en una señal analógica de voltaje.

- Su consumo es de baja corriente, típico de 5mA y en modo de espera es típicamente $0,1 \mu A$.
- El voltaje operativo de alimentación es de -0.3 a 4,6 V y en un rango de temperatura de $-25 \text{ }^\circ C$ a $70 \text{ }^\circ C$.

En la Figura 59 se observa el comportamiento típico del sensor a 4 temperaturas diferentes.

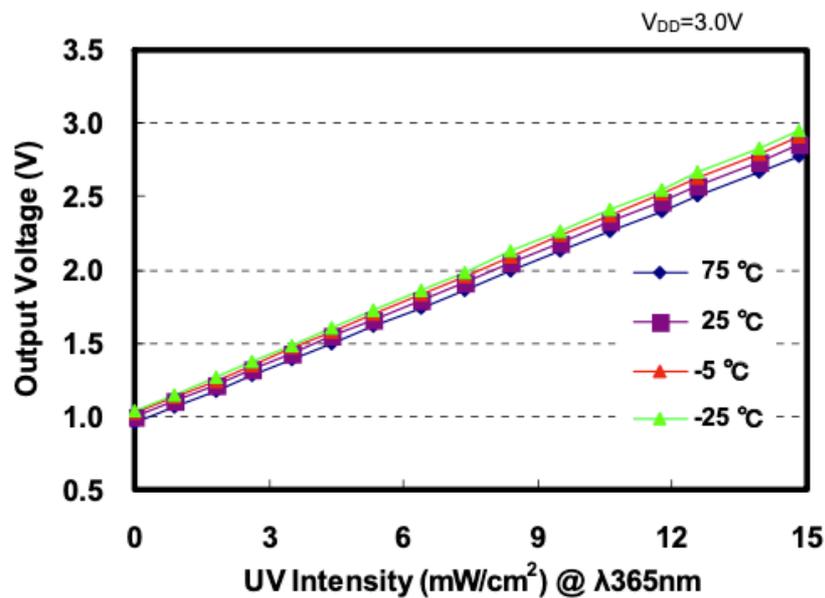


Figura 59. Voltaje de salida en función de mW/cm^2

4.1.3 Índice UV

El índice se determina a través de la función descrita en la ecuación (15). Esta función dependerá de la medida de la radiación captada por el sensor y de dos constantes lineales que

se determinaran en base a las medidas históricas de las estaciones meteorológicas de INAMHI o de la Secretaría de Ambiente DMQ.

$$IUV = m * RUV + b \quad (15)$$

4.1.4 Sensor BH1750FVI

Este sensor se emplea como sensor de iluminación (luz ambiental), tiene una salida serial de 16bits y para la comunicación usa el protocolo I^2C . Destacan las siguientes características:

- Su respuesta espectral se asemeja a la del ojo humano.
- La influencia de la luz infrarroja es insignificante.

Cuenta con tres modos de medida que son:

Tabla 16.

Modos de medida para BH1750FVI

Modo de medida	Tiempo de medida	Resolución
H-Resolution Mode2	120ms	0.5 lux
H-Resolution Mode	120ms	1 lux
L-Resolution Mode	16ms	4 lux

En *H-Resolution Mode*, se tiene la característica de que, debido al tiempo de medición, se rechaza el ruido, incluido el ruido en la frecuencia de las líneas AC. 50HZ/60Hz.

4.1.5 Altura

Se realiza una estimación mediante software, empleando el sensor combinado de humedad, presión y temperatura (BME280), a través de la librería “Adafruit BME280”. Mediante un cálculo donde interviene la presión al nivel del mar y la presión medida, se obtiene un valor aproximado de la altura. La estimación se realiza a través de la ecuación (16) implementada por defecto en la librería.

$$Altura = 44330 * \left(1 - \left(\frac{P}{P_0} \right)^{\frac{1}{5.255}} \right) \quad (16)$$

Donde P_0 es la presión al nivel del mar y P es la presión medida. Tomando en cuenta la medida del INAMHI en la estación “Los Chillos” ubicado en San Rafael - Rumiñahui, la presión oscila entre 756 a 762 hPa . La presión a nivel del mar es 1 atm o 1013.25 hPa . Utilizando la ecuación (16) se obtiene que la altura para el Valle de los Chillos esta entre 2339 a 2403 m . La altura de Rumiñahui está entre los 2000 a 3000 $m.s.n.m.$, y en promedio su altura es 2500 $m.s.n.m.$ Lo que indica que la aproximación de altura se encuentra dentro del rango ya establecido.

4.1.6 Tarjeta de desarrollo TTGO LoRa32 V1

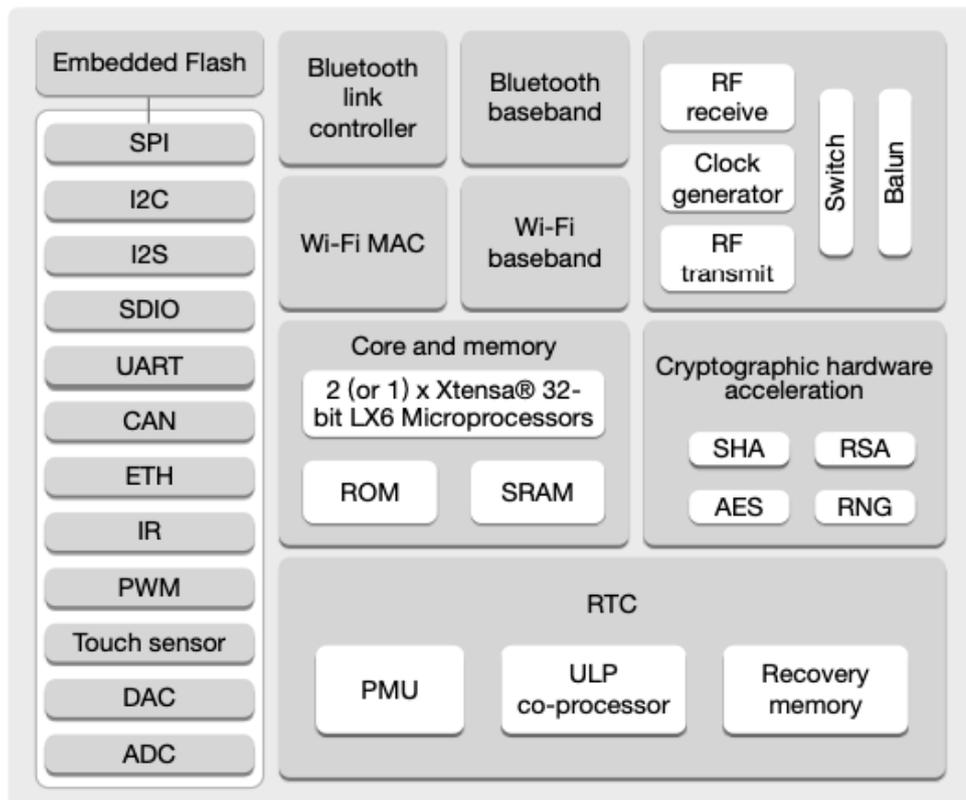


Figura 60. Diagrama de bloques funcional SoC ESP32

Fuente: (Espressif Systems, 2019)

Esta tarjeta brinda la facilidad de conexión de múltiples sensores y/o actuadores, por su alta densidad de periféricos, en la Figura 29, se muestra la distribución de pines de esta tarjeta las características técnicas como desempeño computacional, periféricos, características

eléctricas y el precio en Ecuador están descritas en la tablas Tabla 3, 4, 5 y 6 respectivamente. El diagrama de bloques funcional que compone este sistema en chip es el mostrado en la Figura 60.

Sobre el chip LoRa SX1276 que emplea está soldado a la tarjeta y comunicado a través de SPI, según las especificaciones del fabricante este módulo cuenta con LoRa para frecuencias 868/915MHz, alta sensibilidad de aproximadamente -148dBm, salida de potencia de +20 dBm, alta confiabilidad. Esto fue corroborado por el Ingeniero Andreas Spiess, desarrollador sueco con mucha experiencia en el campo del IoT, empleando un analizador de espectros (Siglent SSA3032X) y un puente de reflexión de 1MHz a 2000MHz (Siglent RB3x20), (Spiess, 2018).

4.1.7 Diagramas de bloques de los sistemas

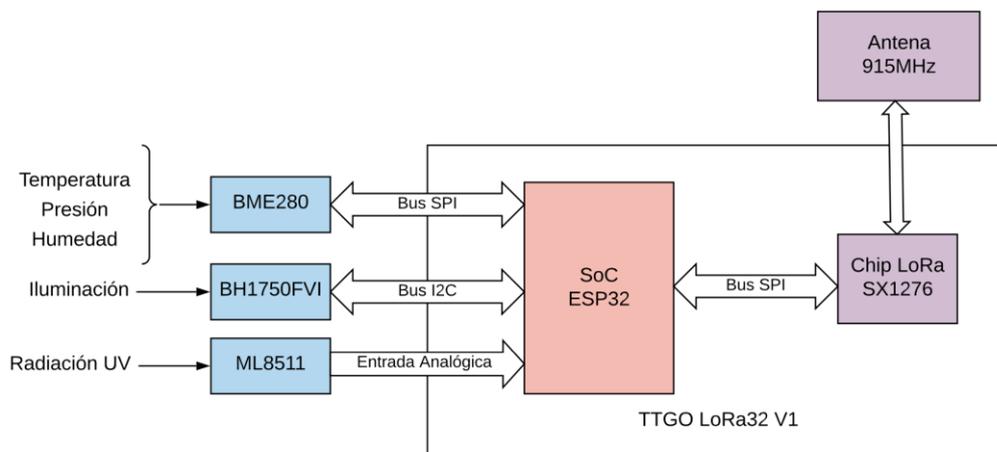


Figura 61. Diagrama de bloques funcional MEM

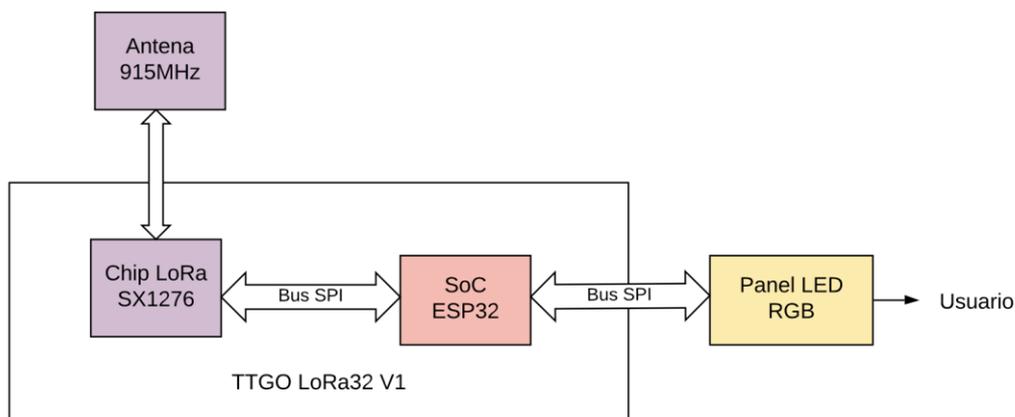


Figura 62. Diagrama de bloques funcional EIM

Estos diagramas representan los sistemas y se encuentran estructuradas como se muestra en la Figura 61 y 62.

4.1.7.1 Circuito Inter integrado (I^2C)

Se trata de una tecnología que emplea un bus serial half duplex de dos líneas para comunicación entre dos o más dispositivos con una configuración múltiple maestro – múltiple esclavo. En este caso se emplea la comunicación para conectar el sensor BH1750FVI con el ESP32 como en la Figura 61. Para poder comunicarse el maestro debe conocer la dirección del dispositivo (depende del dispositivo y viene de fabrica).

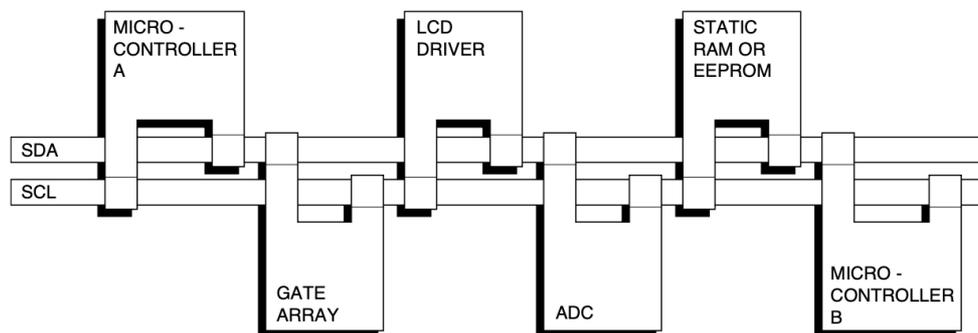


Figura 63. Comunicación I2C

Fuente: (NXP Semiconductors, 2014, p. 7)

Las líneas de esta comunicación son:

- Serial Data (SDA): Envía los datos de forma bidireccional.
- Serial Clock (SCL): Señal de reloj que sincroniza la comunicación (hasta los 5MHz en ESP32).

(Kolban, 2018, p. 269)

4.1.7.2 Interfaz Periférica Serial (SPI)

Esta tecnología emplea un bus serial full duplex de cuatro líneas para comunicar los periféricos en un SoC o dispositivos externos, para esto utiliza una configuración único maestro - múltiple esclavo. En este proyecto el objetivo es comunicar múltiples dispositivos con el ESP32 como se muestra en la Figura 62.

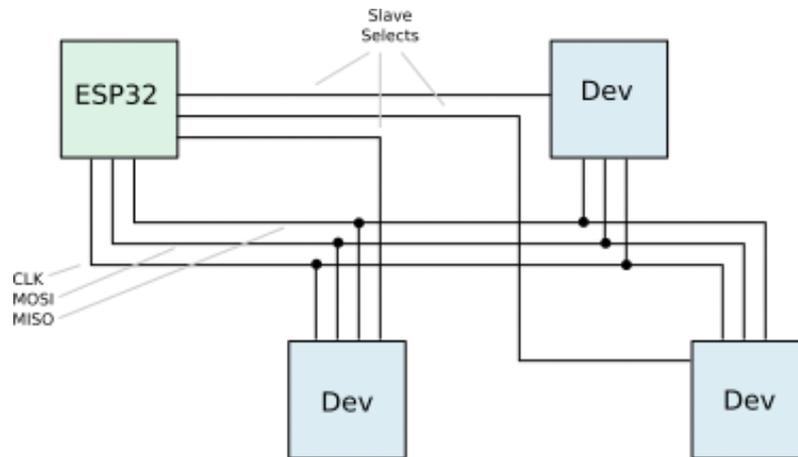


Figura 64. Comunicación SPI

Fuente: (Kolban, 2018, p. 276)

La funcionalidad de las líneas del bus son las siguientes:

- Master input slave output (MISO): Envía datos (bits) de forma serial desde esclavo a maestro.
- Master output slave input (MOSI): Envía datos (bits) de forma serial desde maestro a esclavo.
- Clock (CLK): Establece la velocidad y transmisión en el bus SPI (hasta los 80MHz en ESP32).
- Slave Select (SS): Selecciona el dispositivo de destino del mensaje MOSI.

(Kolban, 2018, p. 275)

El ESP32 dispone de dos buses SPI. Debido a que el panel RGB no tiene la opción de un pin *Slave Select* para un funcionamiento simultaneo, se opta por emplear los dos buses en la implementación de la EIM: el bus *HSPI* para Panel RGB y el bus *VSPI* para LoRa.

4.2 Programación de las tarjetas de desarrollo

La programación de las tarjetas TTGO LoRa32 V1, se realiza en el lenguaje Arduino (c++) debido a la gran cantidad de librerías y documentación de código abierto aportadas por la comunidad de Arduino.

4.2.1 Diagramas de casos de uso

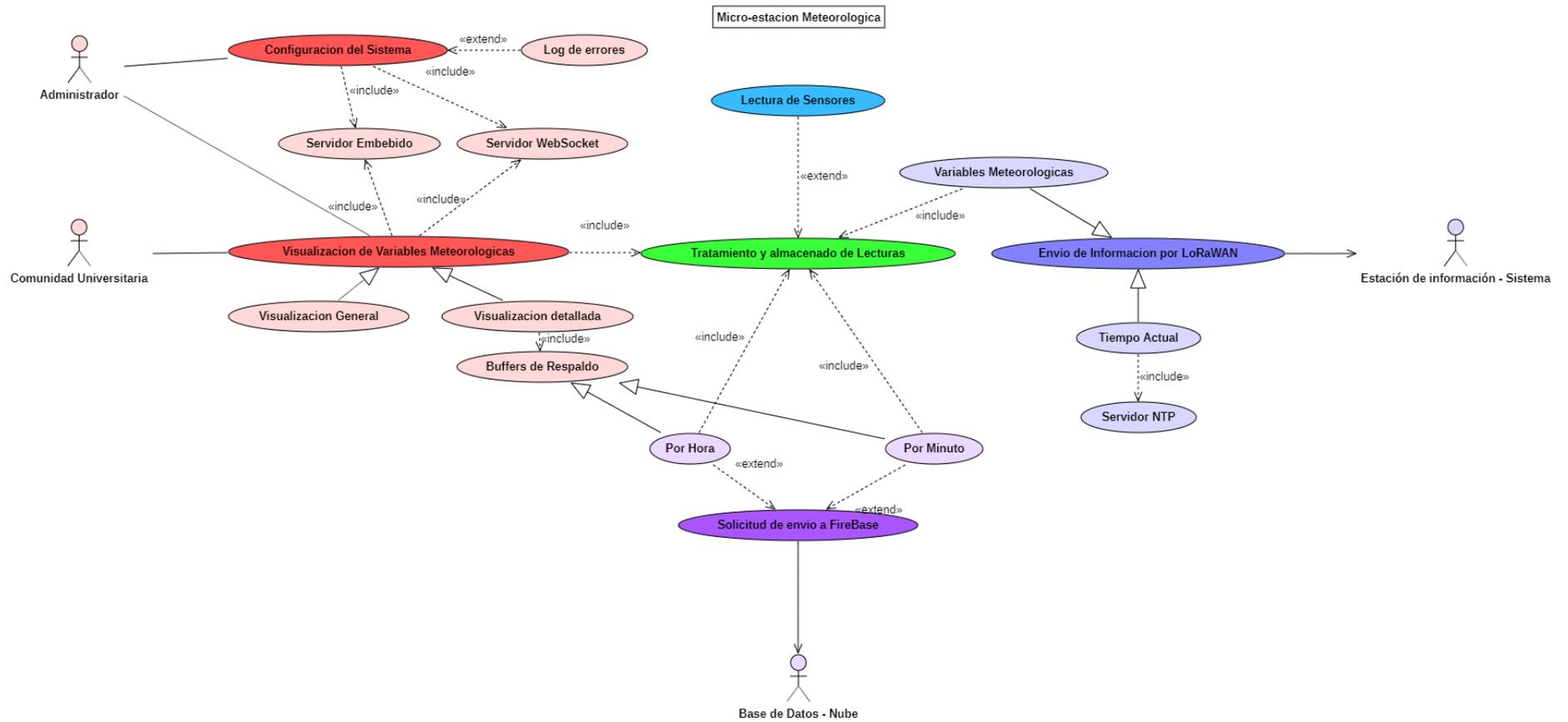


Figura 65. Diagrama de Casos de Uso de la MEM

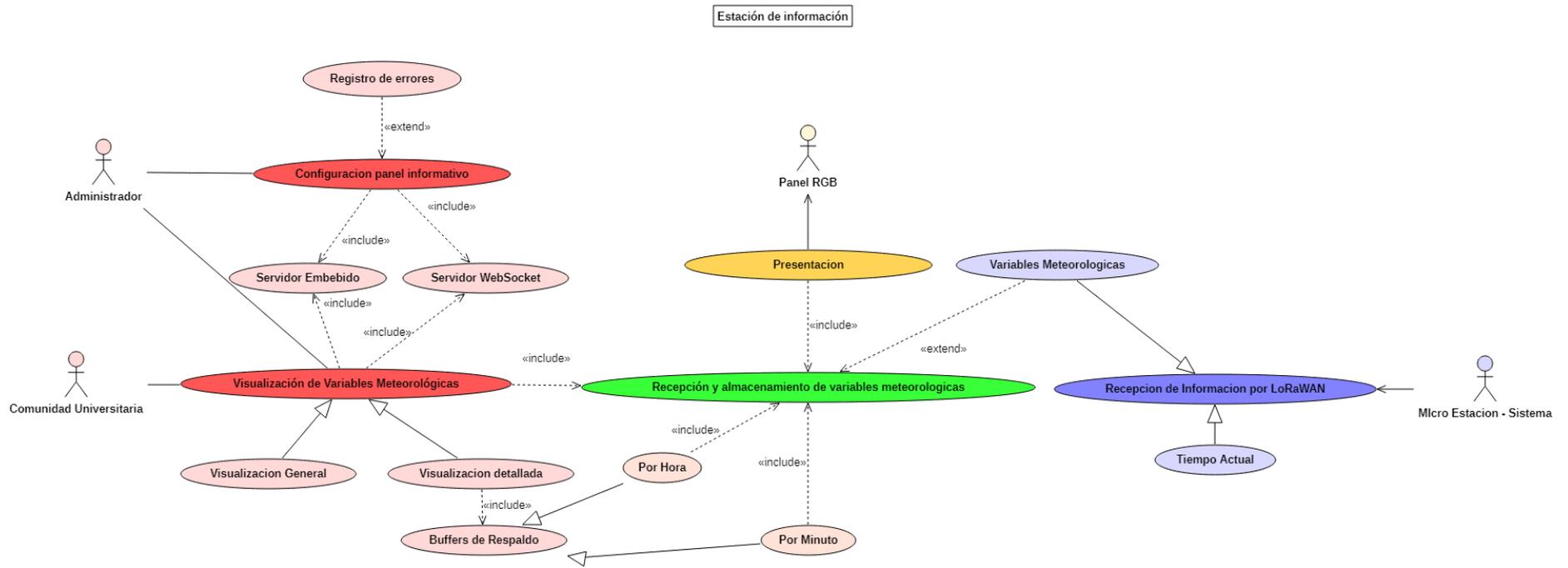


Figura 66. Diagrama de Casos de Uso de la EIM

El comportamiento de los sistemas entre sí y con los usuarios, se muestra en la Figura 65 y 66. En la cual se muestran todos los componentes de la MEM y la EIM respectivamente y sus interacciones.

4.2.2 Diagramas de Paquetes

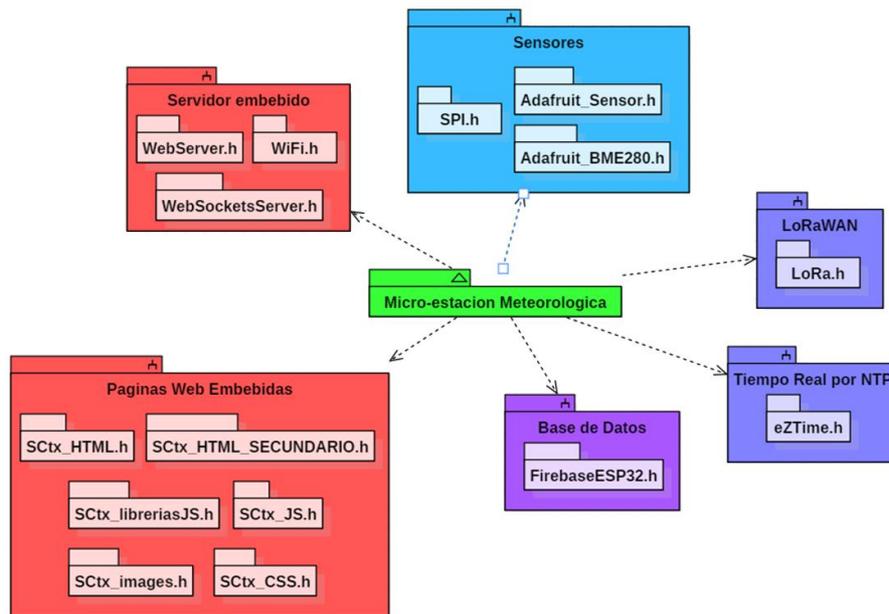


Figura 67. Diagrama de paquetes de MEM

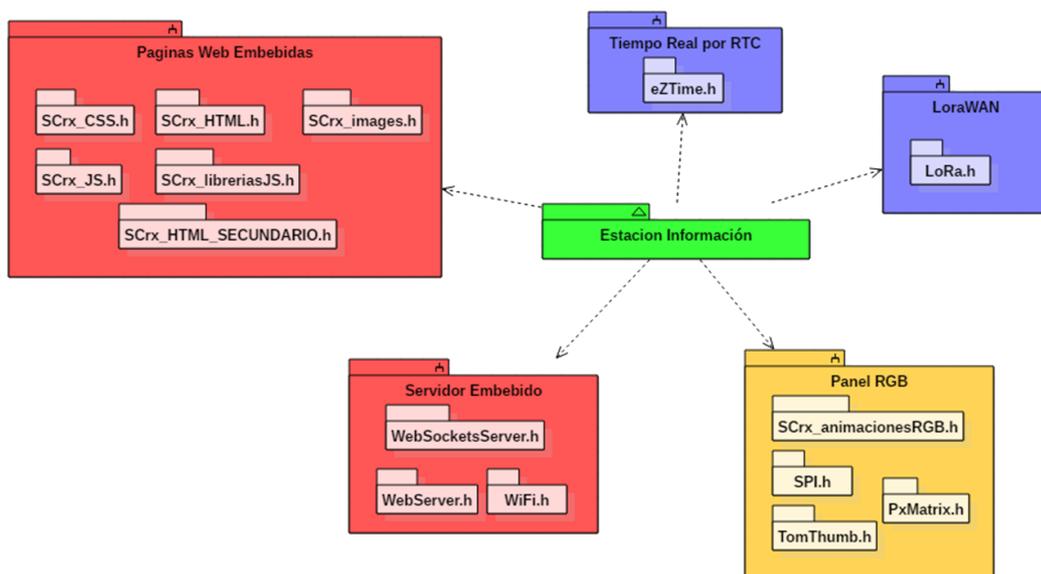


Figura 68. Diagrama de bloques de EIM

Tabla 17.
Descripción de componentes de MEM y EIM

Librería Arduino	Descripción
MEM & EIM	
WiFi	Permite la conexión WiFi en modo “Access Point” y/o “Station”
WebServer	Permite el manejo de peticiones y respuestas HTTP a través de MIME types
WebSocketsServer	Permite el manejo de los eventos en el servidor websockets
SCtx_HTML/ SCrx_HTML	Página principal HTML en el servidor embebido muestra las variables en un Dashboard
SCtx_CSS/ SCrx_CSS	Hoja de estilos para todas las páginas HTML
SCtx_JS/ SCrx_JS	Aplicaciones JavaScript para modificar el DOM, adecuar datos y calibrar sensores.
SCtx_libreriasJS/ SCrx_libreriasJS	Contiene las librerías
SCtx_HTML_SECUNDARIO/ SCrx_HTML_SECUNDARIO	Contiene las páginas de monitoreo de variables/históricos, configuración, e información de variables y sensores.
SCtx_images/ SCrx_images	Contiene los recursos Web empleados en cada página codificados en HEX.
LoRa	Librería compatible con el chip LoRa SX1276 permite configuración de la comunicación LoRa y manejo de la pila del protocolo LoRaWAN
math	Maneja operaciones matemáticas con tipos double
ezTime	Toma el tiempo del computador al momento de cargar el programa a la tarjeta o mediante NTP para sincronizar el reloj de tiempo real
MEM	
Adafruit_Sensor	Toma datos de los sensores de Adafruit y genera sus comunicaciones
Adafruit_BME280	Permite comunicación y configuración de modos del sensor BME280 a través de SPI o I2C
FirestoreESP32	Permite la autenticación, adquisición y registro de datos en la base datos Firestore
EIM	
PxMatrix	Permite la configuración de la matrix RGB 32x16 a través de comunicación SPI e implementa funciones compatibles con AdafruitGFX
AdafruitGFX	Permite escribir texto y dibujar formas básicas en pantallas tipo OLED, TFT, etc.
TomThumb	Es una fuente de código abierto compatible con AdafruitGFX
SCrx_animacionesRGB	Aquí se encuentran las estructuras de las animaciones para cada variable mostrada en el panel RGB32 x16

Los diagramas de paquetes se han empleado para ilustrar los componentes que son parte de las librerías usadas en el presente proyecto tanto en la micro estación meteorológica (MEM) como en la estación de información meteorológica (EIM) mostradas en la Figura 67 y 68 respectivamente y detalladas en la Tabla 17.

Para MEM y EIM el paquete de “Páginas Web Embebidas” contiene los componentes son los recursos web en formato C string.

4.2.3 Diagramas de Flujo

Arduino estructura sus programas en archivos *.ino* llamados Sketches un programa comúnmente se compone de dos funciones principales un *setup* (configuración una sola vez) y un *loop* (ciclo infinito, más de uno implementando multiprocesos¹⁰). En el caso del programa de la MEM el programa se compone por 12 Sketches, pero para objeto de documentación se presentan los diagramas correspondientes al *setup* (Figura 72) y *loop* (Figura 73). En el caso de EIM se tiene 13 Sketches, además una implementación de multiproceso (*loop1* y *loop2*) para evitar interferencias en la adquisición de la información a través de LoRa y el refresco del panel LED RGB; por tanto, se ilustran los diagramas de *setup* (Figura 69), *loop1* (Figura 70) y *loop2* (Figura 71).

Los diagramas de las funciones que complementan a cada las funciones *loop* y *setup* se adjuntan en el ANEXO 2 y ANEXO3 debido a que los programas son muy extensos.

¹⁰El ESP32 tiene la capacidad de trabajar con dos núcleos implementando funciones del sistema operativo de tiempo real freeRTOS portadas a Arduino.

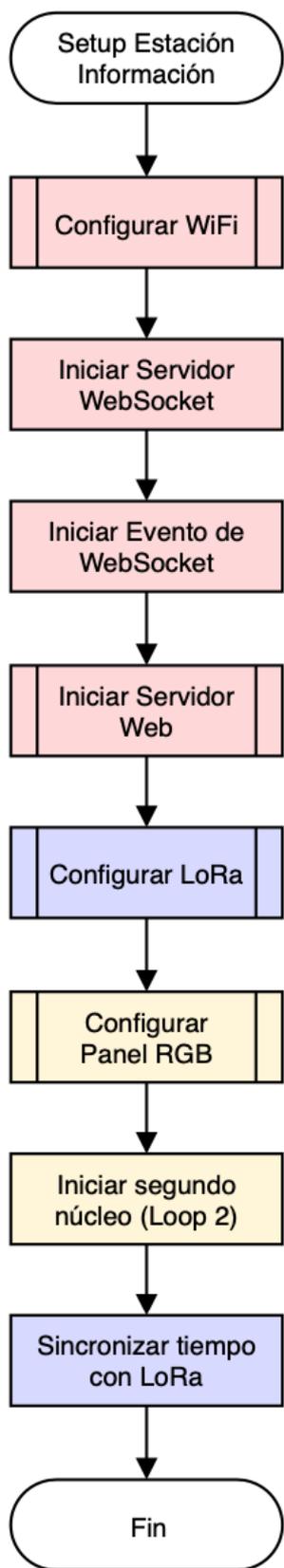


Figura 69. Setup programa EIM

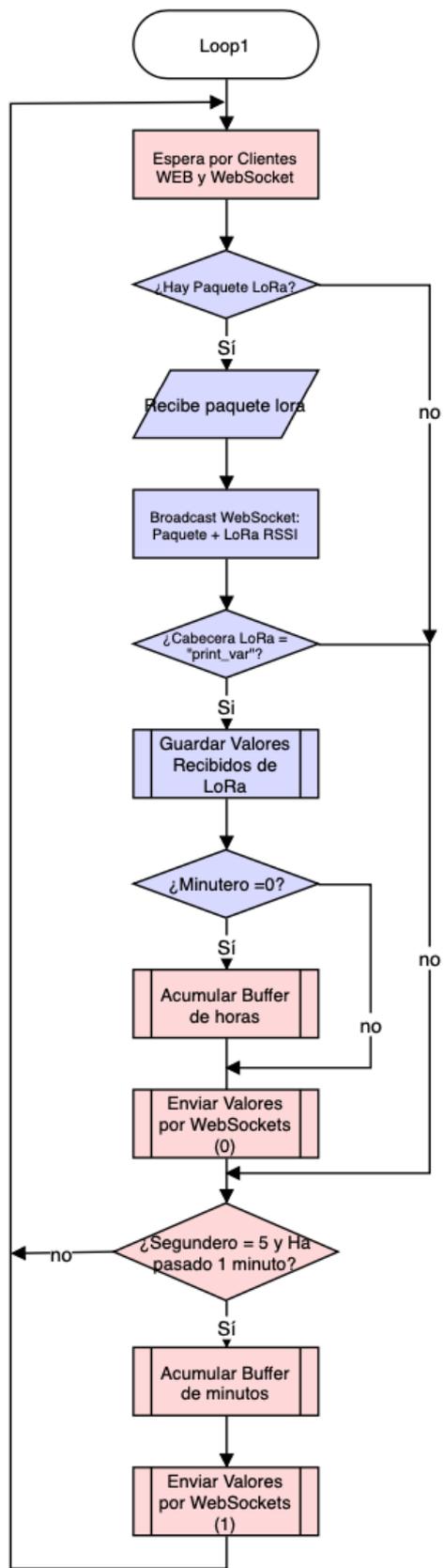


Figura 70. Loop1 programa EIM

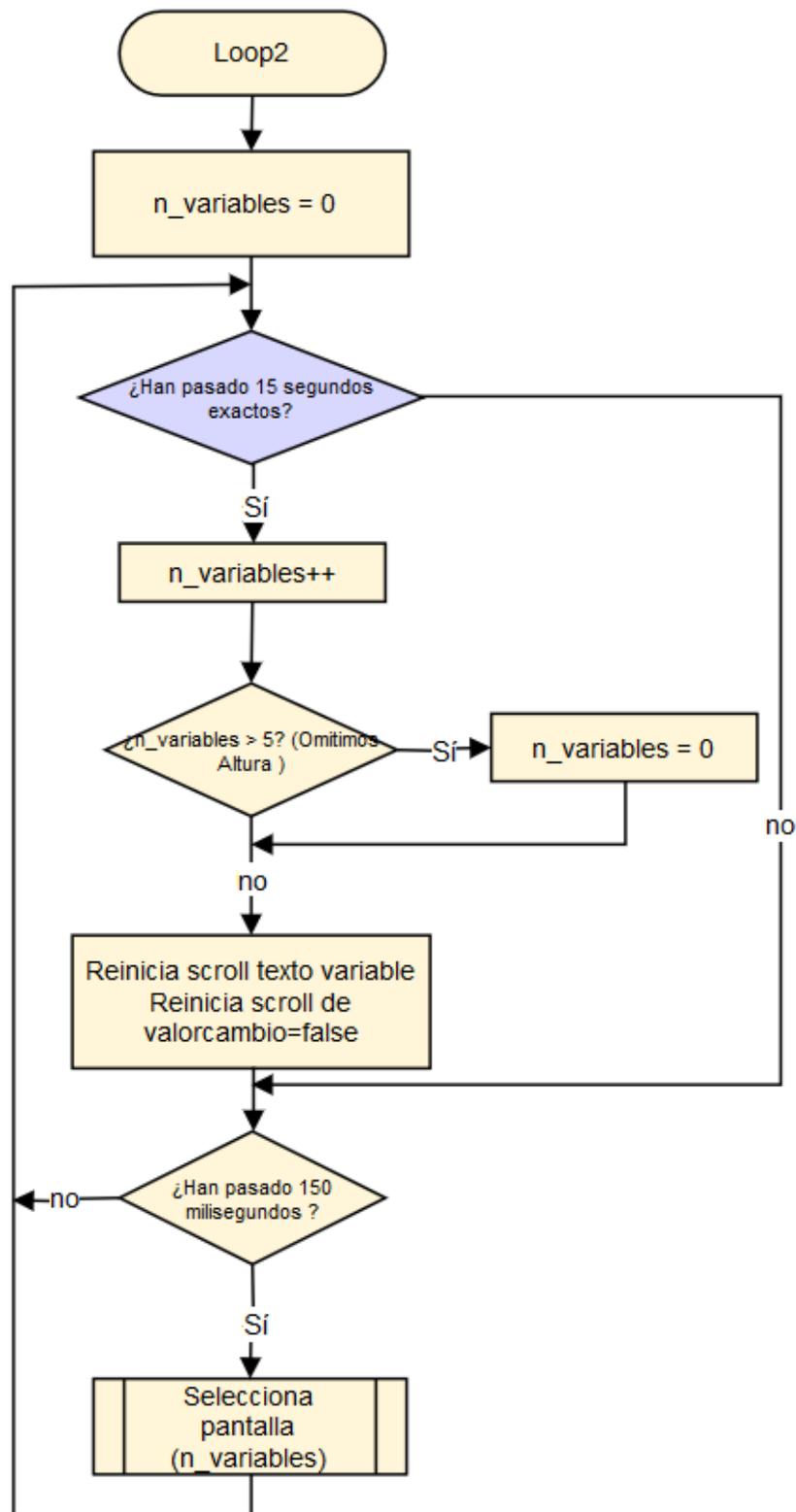


Figura 71. Loop2 programa EIM

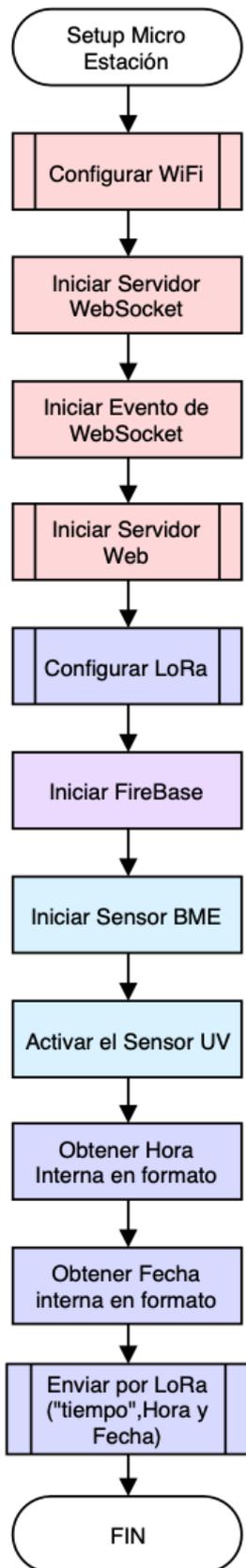


Figura 72. Setup programa MEM

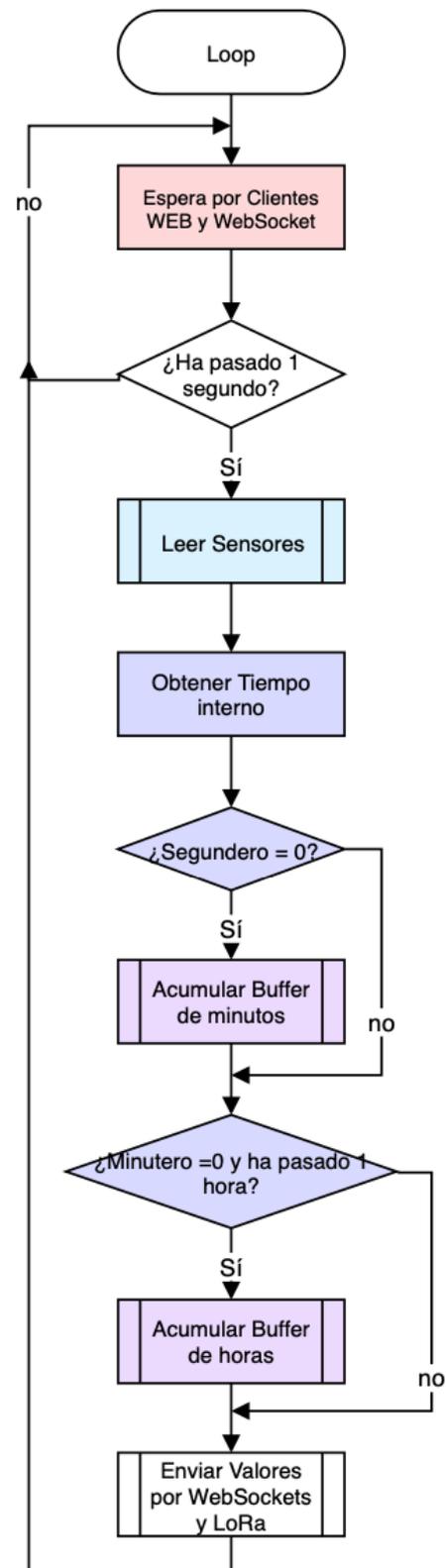


Figura 73. Loop programa MEM

4.3 Desarrollo de Aplicaciones WEB

La aplicación Web está escrita en la especificación HTML5, JavaScript y CSS, está alojada en un Servidor Web Embebido dentro del ESP32, ya que este implementa una pila TCP/IP completa, es decir el microcontrolador maneja las peticiones HTTP en local, y responde de acuerdo con los recursos solicitados. El ESP32 cuenta con un espacio reducido en memoria Flash, por este motivo los recursos como librerías de JavaScript, CSS e imágenes fueron comprimidos en formato GZIP para optimizar en memoria de programa del SoC, cuando se realiza una compresión se debe enviar la respuesta HTTP con una cabecera que advierta que el contenido enviado al cliente está comprimido.



Figura 74. Proceso de compresión de recursos de Servidor Embebido

4.3.1 Diseño de páginas

Las páginas que se encontrarán dentro del servidor serán un total de 6 tipos:

Página principal

Esta página se centra en mostrar toda la información resumida del sistema, es decir, se muestran los valores de las variables meteorológicas y las recomendaciones de la WMO para la radiación UV. Este diseño es similar para la MEM y para la EIM y se puede observar en la Figura 75.

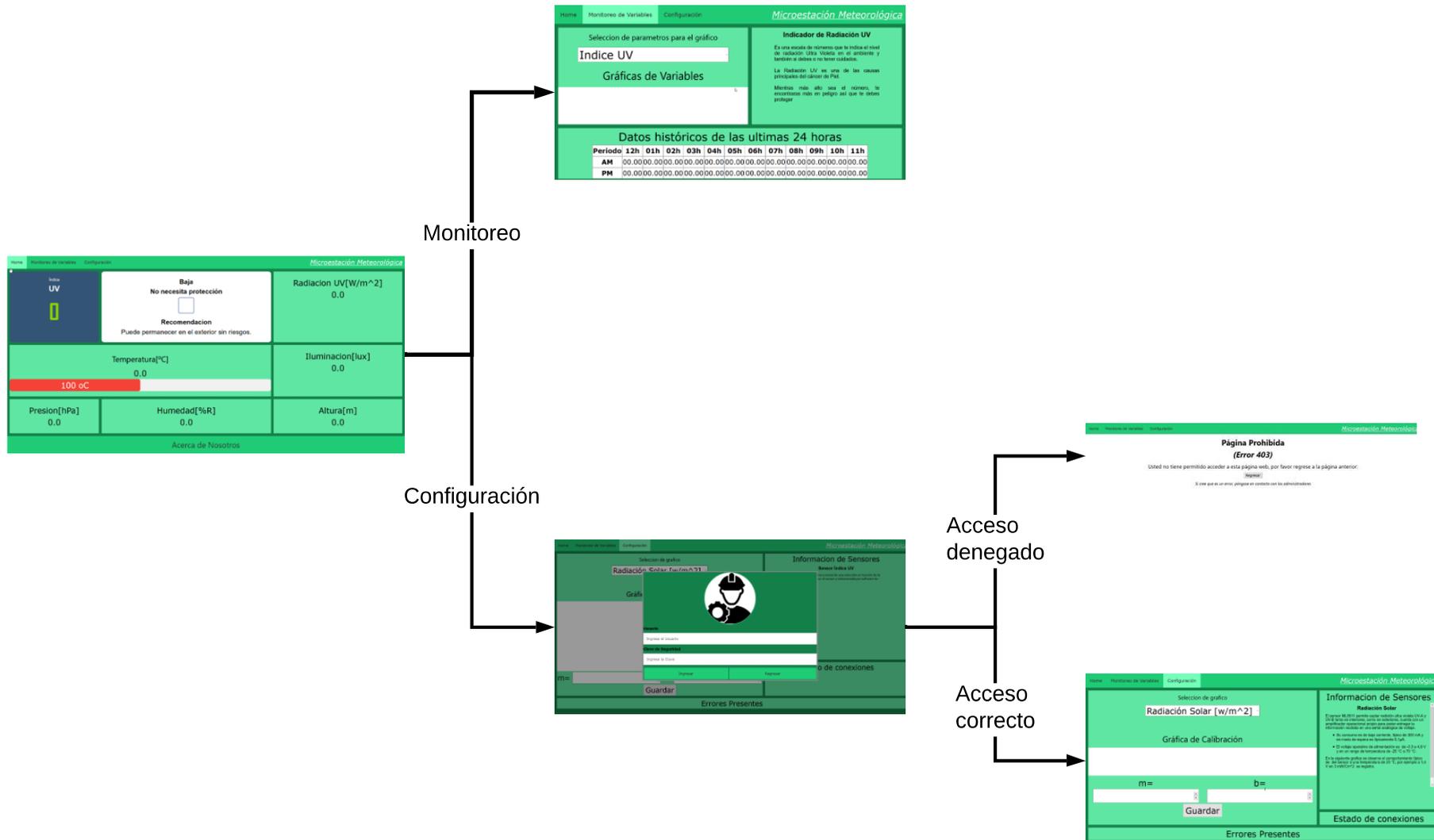


Figura 75. Diagrama de Aplicación Web

Página de monitoreo

Aquí se realiza el monitoreo detallado de una variable meteorológica, se muestran históricos de los últimos 10 minutos y de las últimas 24 horas. Además, se cuenta con descripciones de la variable que el cliente se encuentra monitorizando. Esta página se puede observar en el ramal superior de la Figura 75 y es similar para la MEM y EIM.

Página de configuración

Trata sobre la configuración del sistema, en este caso difiere para ambas estaciones debido a que realizan diferentes actividades. Para la MEM se centra en la calibración de los sensores, la descripción técnica de los sensores y una caja de texto que determina el estado de la estación y se puede ver en el ramal inferior de la Figura 75. En el caso de la EIM, la configuración es para determinar cuándo se activa la estación y el brillo del panel.

Página de Login

Es una página en la que el administrador de los sistemas o alguien autorizado pueda realizar la configuración. La página de configuración, es similar para la MEM y la EIM.

Página de acceso denegado

Aparece cuando alguien no autorizado trata de configurar el sistema sin identificarse. Es implementada en ambas estaciones y se muestra en el ramal de “Acceso denegado” en la Figura 75.

Páginas Secundarias

Son páginas que contienen información adicional sobre las variables o sensores. Son utilizadas en las páginas de monitoreo y configuración.

Navegación entre páginas WEB

Para navegar en estas páginas web es necesario que el cliente, (ya sea celular, Tablet o laptop) se conecte a la misma red de la estación. La MEM se conecta a una de las redes del

campus para sincronizar su reloj y subir las medidas a una base de datos. Por otro lado, la EIM genera su propia red que es descrita en la infografía de dicha estación.

Luego se debe ingresar a la página escribiendo en el navegador de Internet la dirección IP de la estación o la dirección DNS si está habilitado.

Finalmente, para acceder a las páginas descritas desde según el orden de la Figura 75 para esto se debe utilizar la barra de navegación, ubicada en la parte superior de todas las páginas.

4.3.2 Diagramas de Estados

Las páginas mencionadas presentan cierto comportamiento en base a lo que el cliente desee. En la Figura 76 se observa la interacción que puede tener el cliente al navegar en las páginas del sistema.

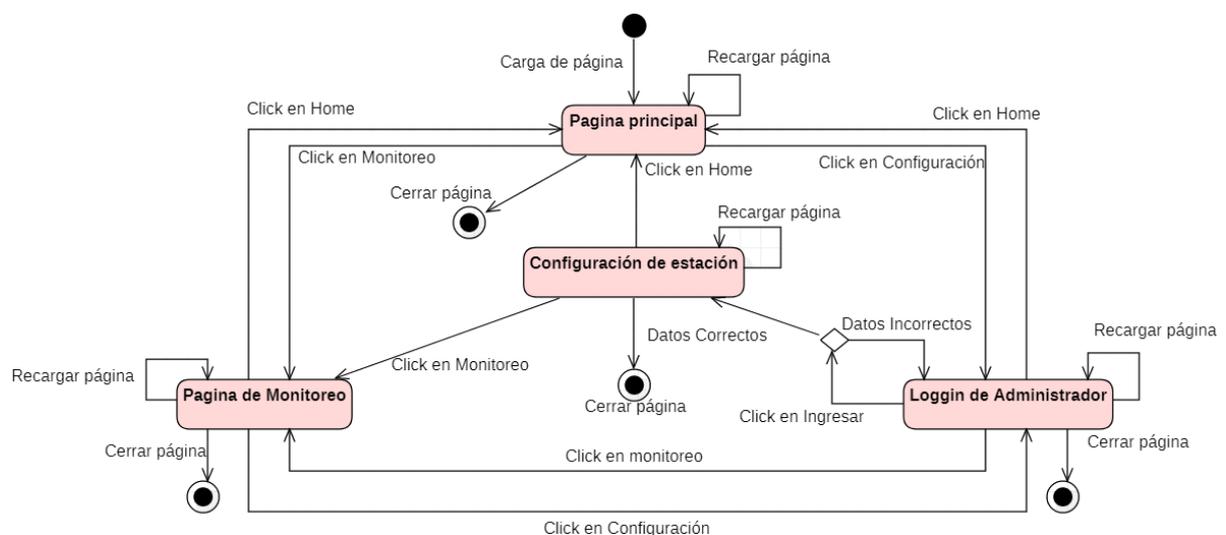


Figura 76. Diagrama de estados de la página web

El inicio de este comportamiento por lo general se lo hará al momento de ingresar a la dirección IP del sistema y terminará cuando el cliente cierre la página o haya una desconexión con el equipo.

4.3.3 WebSockets

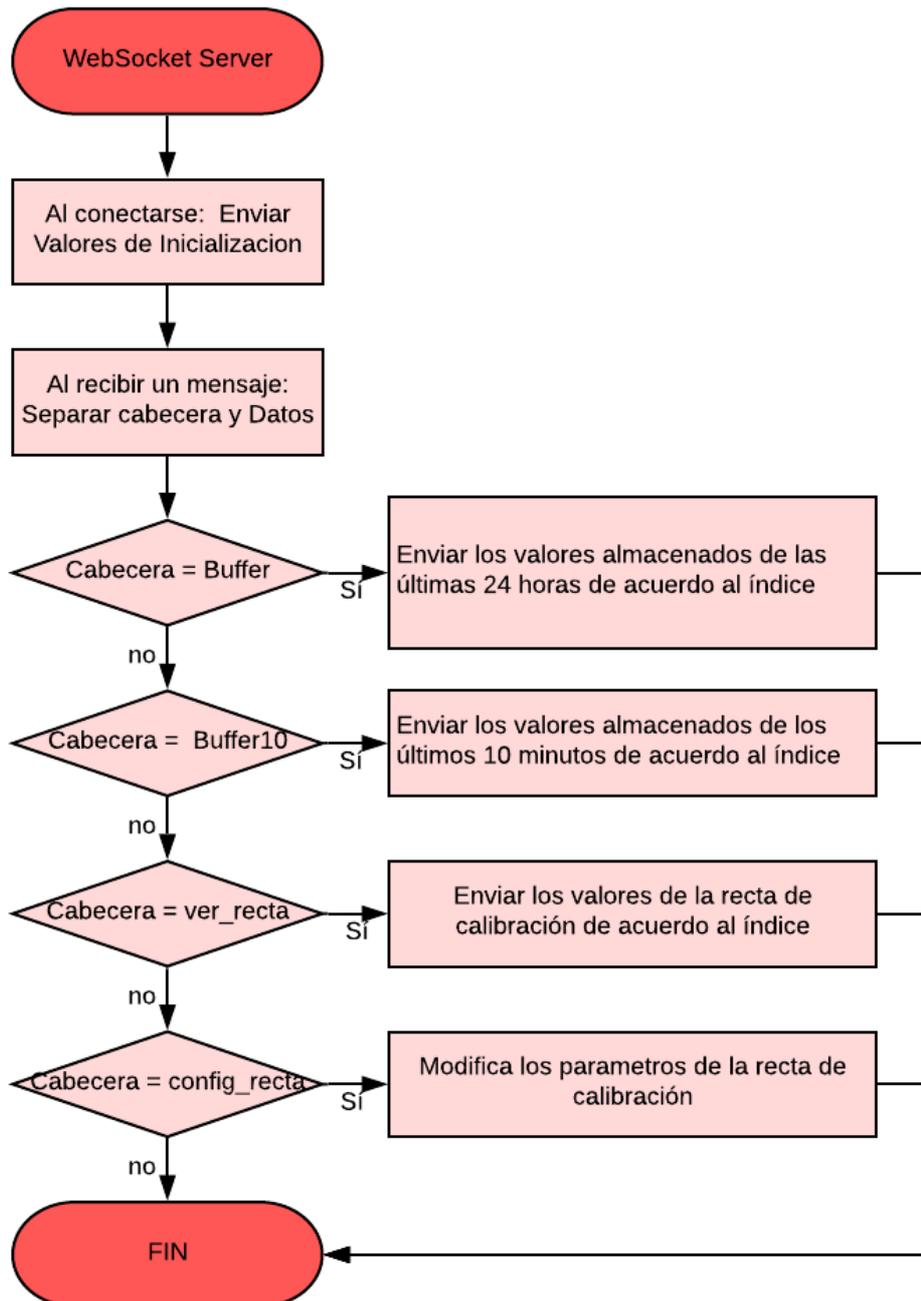


Figura 77. Diagrama de flujo del Servidor WebSocket

La gestión de información entre el cliente y el servidor se realiza a través de un servidor WebSocket ejecutado dentro de la tarjeta de desarrollo y de un cliente WebSocket que se ejecuta en el dispositivo del cliente.

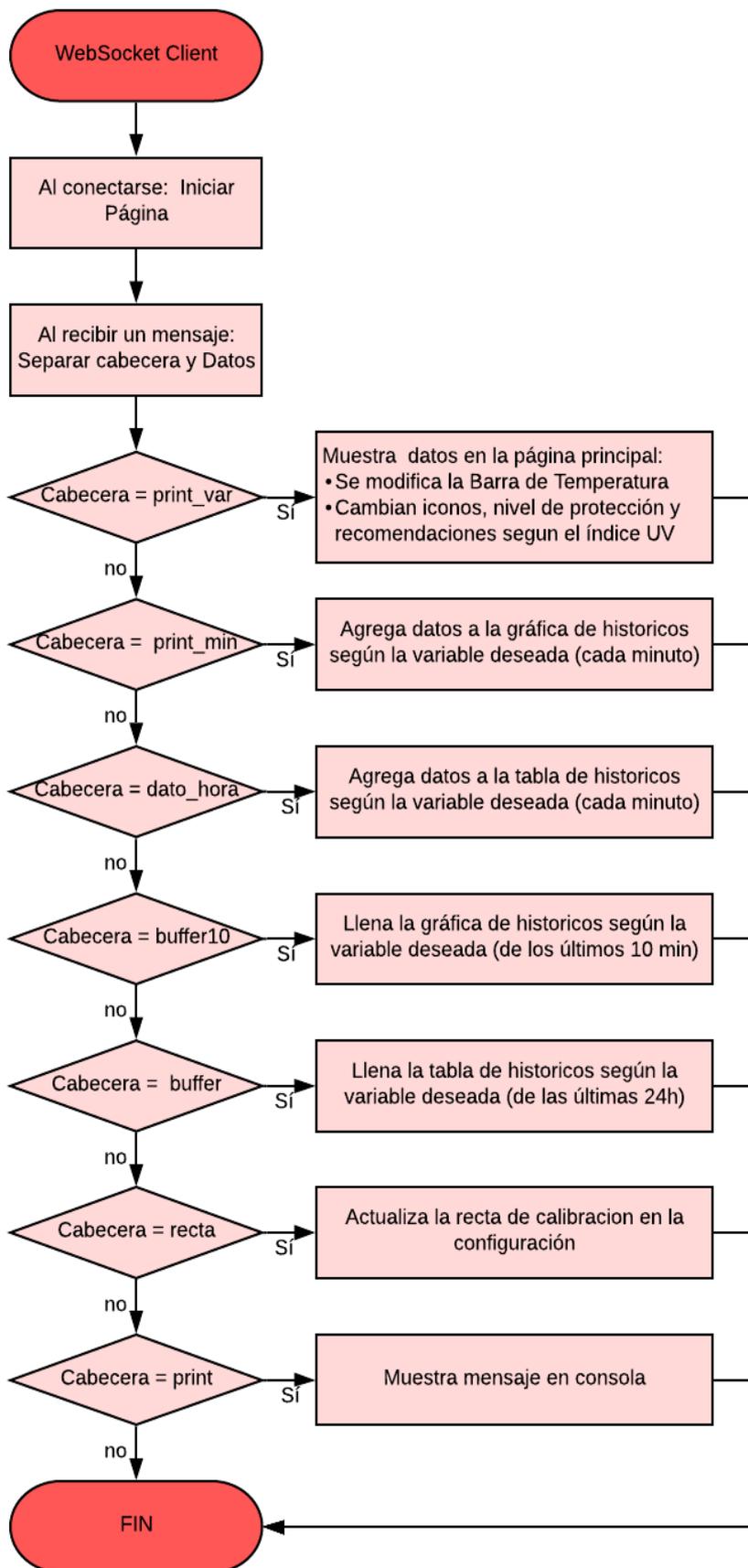


Figura 78. Diagrama de flujo del Cliente WebSocket

En las Figura 77 se puede ver los datos que maneja el cliente y en las Figura 78 los que maneja el servidor.

De forma similar se realiza con la EIM, su diferencia con la MEM son los encabezados de configuración.

Debido a que una aplicación Web puede cambiar de acuerdo con las necesidades de los usuarios, la gestión de información puede cambiar y los datos, tanto para el cliente como para el servidor, pueden aumentar o disminuir.

4.4 Integración de base de datos no relacional

Para este proyecto se opta por utilizar una base no relacional de tiempo real Firebase, dado que su gestión se lleva a cabo mediante JSON, lo que facilitará el análisis de los datos generados para proyectos futuros, la conexión de un proyecto de ESP32 con Firebase se realiza con la ayuda de la librería de Arduino *FirebaseESP32*.

A través de una cuenta de Google se puede acceder *Firebase console* mediante el buscador o mediante el siguiente enlace <https://console.firebase.google.com> en este caso el correo institucional de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE tiene vínculo con un cuenta de Google, también se puede crear una de forma gratuita.

1. Crear un proyecto en Firebase.
2. Dentro del proyecto dirigirse a la pestaña de Firebase> Desarrollo>Database>Crear una base de datos Cloud Firestore.
3. De acuerdo con el país donde se está empleando el servicio colocar la ubicación Cloud Store más cercana.
4. Acceder a la pestaña Database>Realtime Database.
5. Modificar las reglas de acceso a la base de datos de tiempo real, esto otorga un grado de seguridad a la base de datos.
6. Crear una aplicación desde la pestaña Project Overview > Web.

7. Registrar la aplicación con un nombre.
8. Obtener los parámetros de configuración del SDK para Firebase, estos se colocan como parámetros para construcción de los objetos utilizados.

2 Agregar el SDK de Firebase

Copia y pega estas secuencias de comandos en la parte inferior de la etiqueta <body> antes de usar cualquier servicio de Firebase:

```
<!-- The core Firebase JS SDK is always required and must be listed first -->
<script src="https://www.gstatic.com/firebasejs/7.6.0/firebase-app.js"></script>

<!-- TODO: Add SDKs for Firebase products that you want to use
      https://firebase.google.com/docs/web/setup#available-libraries -->
<script src="https://www.gstatic.com/firebasejs/7.6.0/firebase-analytics.js"></script>

<script>
  // Your web app's Firebase configuration
  var firebaseConfig = {
    apiKey: "AIzaSyA...",
    authDomain: "radiacionuv-748d7.firebaseapp.com",
    databaseURL: "https://radiacionuv-748d7.firebaseio.com",
    projectId: "radiacionuv-748d7",
    storageBucket: "radiacionuv-748d7.appspot.com",
    messagingSenderId: "1018111111111",
    appId: "1:1018111111111:web:1",
    measurementId: "G-XXXXXXXXXX"
  };
  // Initialize Firebase
  firebase.initializeApp(firebaseConfig);
  firebase.analytics();
</script>
```

Obtén más información sobre Firebase para la Web con estos recursos: [Primeros pasos](#), [Referencia de API del SDK web](#) y [Muestras](#)

Figura 79. Parámetros de configuración de Firebase

radiacionuv-748d7

- Microestacion ESPE
 - Humedad
 - Iluminacion
 - IndiceUV
 - Presion
 - RadiacionUV
 - Temperatura

a)

radiacionuv-748d7

- Microestacion ESPE
 - Humedad
 - 02-01-2020
 - 07:15:00: 74.851562

b)

Figura 80. Registros en Firebase Console

4.5 Ajuste de respuesta de sensores

Las lecturas obtenidas de los sensores BME280 (Temperatura, Humedad y Presión) se obtienen a través de la utilización de la comunicación SPI por ser la más rápida, entre las medidas de interés, se encuentra la presión atmosférica absoluta y la obtención de la altura a partir de una presión de referencia, que por lo general es la presión a nivel del mar. Además, se puede configurar el modo de operación de acuerdo a la funcionalidad para el *monitoreo de variables meteorológicas*.

Tabla 18.

Configuración y desempeño del sensor BME280 para monitoreo de variables meteorológicas

Configuraciones sugeridas para monitoreo de variables meteorológicas	
Modo de sensor	Modo normal, 1 muestra/min
Sobre muestreo	Presión x1, temperatura x1, humedad x1
Filtro IIR	Filtro apagado
Desempeño de la configuración sugerida	
Consumo de corriente	0,16uA
Ruido RMS	3.3Pa/30cm, 0,07 %RH
Muestreo de salida	1/60 Hz

Fuente: (BOSCH Sensortech, 2019, p. 19)

Para realizar las lecturas y configuración se emplea la librería Arduino *Adafruit_Sensor* y *Adafruit_BME280* donde se sigue el flujo descrito en la Figura 81.

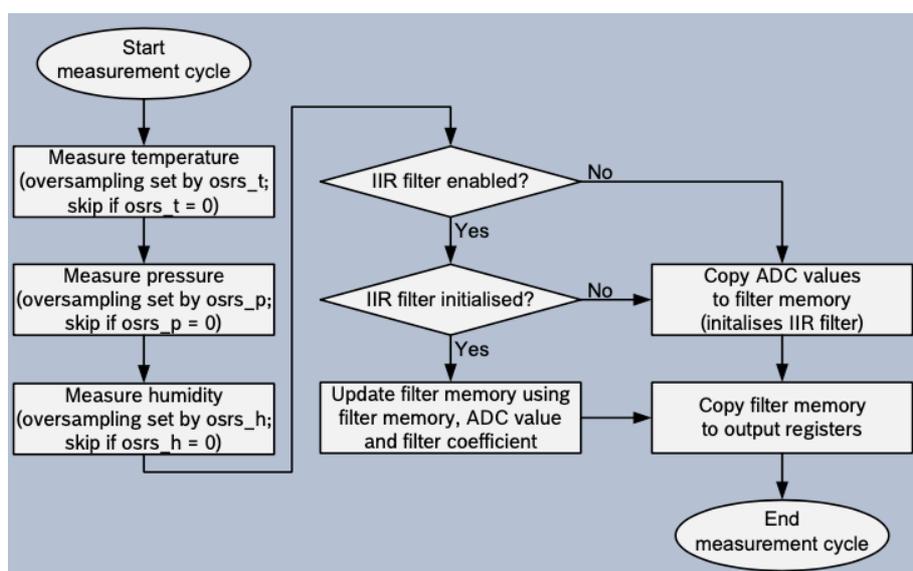


Figura 81. Flujo de medición BME280

Fuente: (BOSCH Sensortech, 2019, p. 17)

Las lecturas del BH1750FVI (sensor de Luminosidad) se obtienen a través de comunicación I2C con la dirección $0x23$. Para poder comunicarse con el sensor se utilizan los códigos de operación (opcodes) se listan en la Tabla 19.

Tabla 19.

Códigos de operación para BH1750FVI

Código	Función
Estado de operación	
0x00	Modo bajo consumo e inactivo
0x01	Encendido
0x07	Borra los registros
Resolución de mediciones	
0x13	Medida continua 4 lux (lectura 16ms)
0x10	Medida continua 1 lux (lectura 120ms)
0x11	Medida continua 0.5 lux (lectura 120ms)
0x23	Una medición 4 lux (lectura 16ms)
0x20	Una medición 1 lux (lectura 120ms)
0x21	Una medición 0,5 lux (lectura 120ms)
Ajuste por cambio en la ventana óptica¹¹	
0B011MT [0,1,2,3,4]	Bit bajo del registro Mtreg
0B01000MT [5,6,7]	Bit alto del registro Mtreg

Fuente: (ROHM Semiconductor, 2019, p. 5)

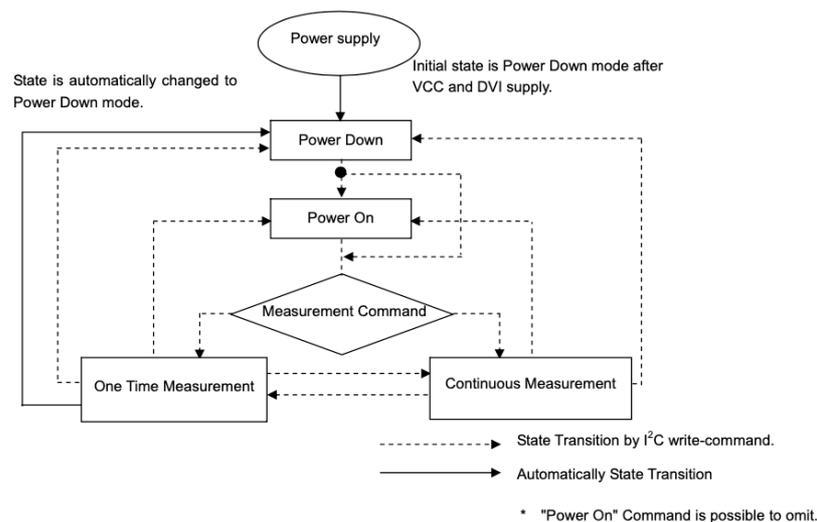


Figura 82. Flujo de medición del sensor BH1750FVI

Fuente: (ROHM Semiconductor, 2019, p. 4)

¹¹ La ventana óptica depende del material que la compone en el caso del presente proyecto el material no filtra las longitudes de onda captadas por el sensor BH1750FVI. En el caso de necesitar hacer una corrección del sensor por ventana óptica se hace mediante el cambio del registro de tiempo de medición (Mtreg) asignando el valor por defecto multiplicado por un escalador.

Para realizar la medición se emplea la librería *Wire* de Arduino y se establece la comunicación como recomienda el fabricante en la hoja técnica.

En este caso se emplea la lectura de $11x$ en un tiempo de lectura de 120ms.

El sensor ML8511 envía un valor analógico de 1 a 3 V a la tarjeta de desarrollo, que los interpreta como valores entre 1241 a 3724 por lo que se necesita una transformación. En base a la Figura 59, se puede obtener la ecuación (17):

$$V = mr + b \quad (17)$$

Donde V es el voltaje del sensor, r es la radiación y m es la pendiente de la línea y b es el bias o desfase de la recta.

De acuerdo con la Figura 59, $b = 0.99V$, por lo tanto, para calcular m se tiene:

$$m = (V - b)/r$$

Si el sensor indica la máxima radiación, entonces:

$$m = \frac{2.8 - 0.99}{15}$$

La función inicial queda:

$$V = \frac{1.81}{15} * r + 1$$

Despejando R , que es la radiación en mW/cm^2 :

$$r = \frac{15(V - 1)}{1.81}$$

El voltaje interpretado por la tarjeta de desarrollo tiene un rango de 0 a 4095 por su conversor ADC de 10 bits:

$$V_d = \frac{4095}{3.3} V \Rightarrow V = \frac{3.3}{4095} V_d$$

Reemplazando en la función se tiene:

$$r = \frac{15 \left(\frac{3.3}{4095} V_d - 1 \right)}{1.81} \left[\frac{mW}{cm^2} \right]$$

Las medidas normalmente se realizan en W/m^2 , realizando la conversión se tiene:

$$r = \frac{15}{1.81} \left(\frac{3.3}{4095} V_d - 1 \right) * \frac{1000}{10000} \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

$$r = \frac{15}{18.1} \left(\frac{3.3}{4095} V_d - 1 \right) \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad (18)$$

Para determinar el valor del Índice UV a partir de las mediciones del sensor UV, se utilizan las mediciones históricas de las estaciones meteorológicas del INAMHI y de la Secretaría de Ambiente DMQ. Se obtiene una dispersión de puntos y al final se obtiene una aproximación lineal (del 78%) de dichos puntos como se observa en la **Figura 83**. La función obtenida es:

$$IUV = 0.0081 * RUV + 0.0585 \quad (19)$$

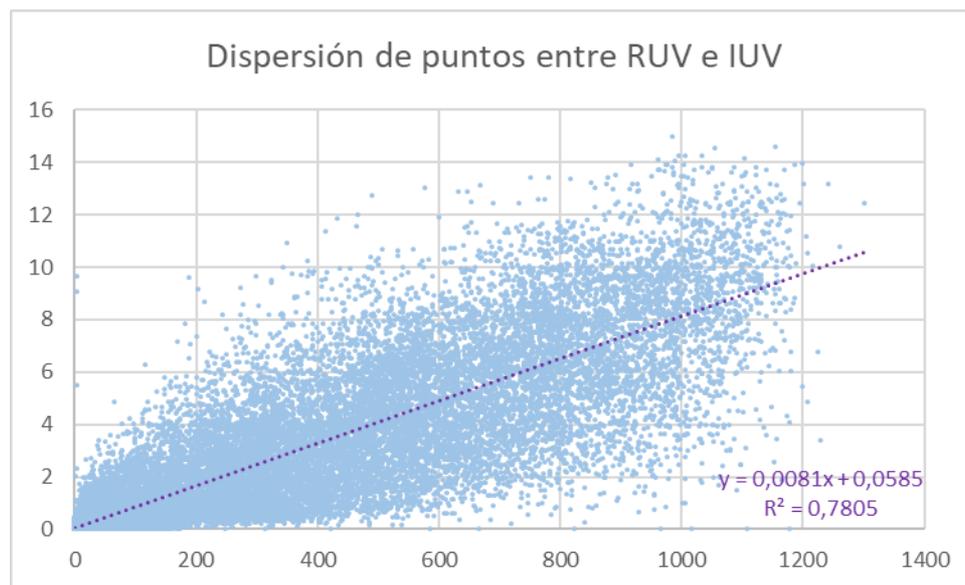


Figura 83. Dispersión de puntos entre la Radiación UV y el Índice UV

En los sistemas, como ya se mencionó, en la configuración se encuentra un calibrador lineal que permitirá ajustar el comportamiento de los sensores cuando sea necesario.

4.6 Dimensionamiento y especificaciones sobre los elementos de los sistemas

fotovoltaicos aislados.

Para los nodos EIM y MEM, se prefirió obtener el consumo a partir de mediciones a través del multímetro data logger “Hold Peak HP-90EPC” obteniendo las curvas de consumo de corriente a un voltaje constante de 4.98V de la Figura 84.

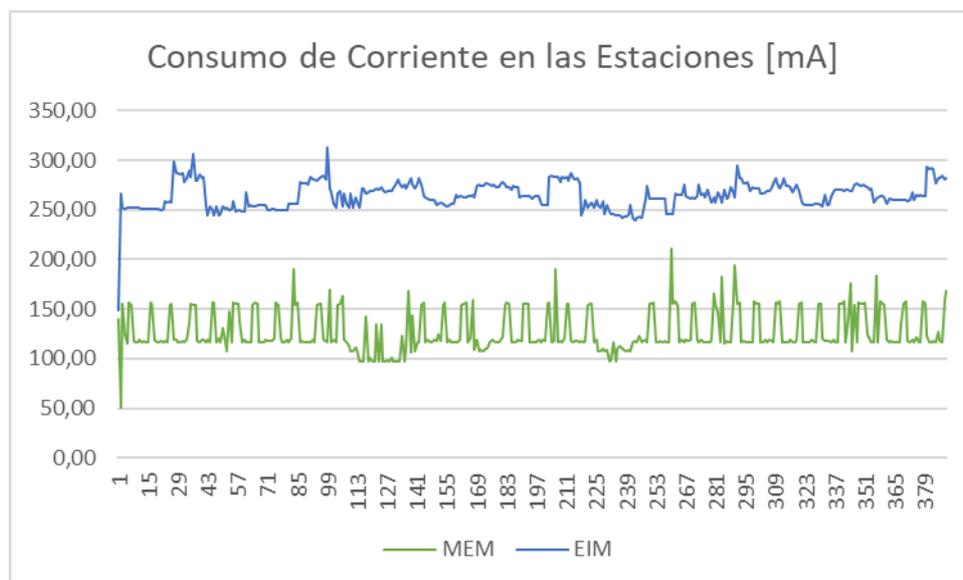


Figura 84. Medición del consumo de corriente de la MEM y EIM cada segundo

A partir de estas medidas, se obtiene las potencias máximas, mínimas y promedio de ambos sistemas, como se muestra en la Tabla 20:

Tabla 20.
Características eléctricas de la MEM y EIM

	MEM			EIM		
	Voltaje [V]	Corriente [mA]	Potencia [W]	Voltaje [V]	Corriente [mA]	Potencia [W]
Min.	4,98	51,30	0,26	4,98	148,90	0,74
Max.	4,98	210,50	1,05	4,98	313,40	1,56
Prom.	4,98	126,80	0,63	4,98	264,52	1,32

El dimensionamiento del sistema fotovoltaico se lo hace siguiendo los pasos de la sección 3.7.5:

1) Ángulo de elevación

La ubicación de la UFA-ESPE es $-0,314^\circ$ en latitud y $-78,44^\circ$ en longitud. Se elige un ángulo de elevación de:

$$\beta = 10^\circ$$

Suficiente para cumplir con lo establecido en la NEC-11, cap. 14.

2) Radiación media mensual con ángulo de inclinación

De acuerdo a la latitud del campus de la UFA-ESPE Matriz Sangolquí ($-0.3^\circ \approx 0^\circ$), al ángulo de inclinación elegida (10°) y Mayo como el peor mes de radiación según la Secretaría de Ambiente Quito (2019), al igual que la Norma Ecuatoriana de Construcción NEC-11 (2011). El valor de k tomado de la tabla del ANEXO 1; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** es:

$$k = 0.93$$

Por lo que:

$$\bar{H}_T = k \cdot \bar{H} = 0.93 \cdot 4650 = 4324.5 \left[\frac{Wh}{m^2} \right]$$

Entonces:

$$HS = \frac{G_{dm}(\beta)}{I_{STC}} = \frac{4324.5 \left[\frac{Wh}{m^2 * día} \right]}{1000 \left[\frac{W}{m^2} \right]} = 4.3245 \left[\frac{h}{día} \right]$$

3) Rendimiento global del generador

Para calcular el Rendimiento del Sistema (PR) se determinan los diferentes componentes de ecuación (5):

$$C_T = 0.005$$

$$T_c = 24 + 1.25(45 - 20) = 55.25$$

$$\eta_{temp} = 1 - 0.005(55.25 - 25) \approx 0.85$$

Debido a que los sistemas van a encontrarse en exteriores, a la intemperie y con una posible amenaza por cenizas volcánicas, pero con una inclinación, la eficiencia de suciedad es.

$$\eta_{suc} = 0.65$$

De acuerdo con la norma, la pérdida en los cables debe ser menor al 3% e idealmente 1%, por lo que el rendimiento escogido es:

$$\eta_{cab} = 0.98$$

Los controladores, por lo general tienen un rendimiento entre el 70% y el 75%, por lo que se escoge:

$$\eta_{reg} = 0.7$$

El rendimiento de las Baterías de Gel normalmente es del 90%:

$$\eta_{bat} = 0.9$$

En dichas baterías el índice de auto descarga es menor al 2%, por lo que su rendimiento, considerando posibles fallas de fabricación, será:

$$\eta_{aut} = 0.97$$

Al no existir inversores, el rendimiento es 1:

$$\eta_{inv} = 1$$

Multiplicando dichos rendimientos se obtiene:

$$PR = 0.85 * 0.65 * 0.98 * 0.7 * 0.9 * 0.97 * 1 = 0.3308$$

4) Potencia necesaria del generador

Se tiene planificado que la MEM esté en funcionamiento durante 24h debido a que es la encargada de medir las variables meteorológicas y almacenarlas en una base de datos. Mientras que, en el caso de la EIM, funcionará durante 14h al día debido a que hay momentos en la que no es pertinente su funcionamiento, como es el caso de la noche y madrugada. Por lo que los consumos energéticos serán:

$$Demanda\ energética_{MEM} = 24 \left[\frac{h}{día} \right] * 1.05 [W] = 25.16 \left[\frac{Wh}{día} \right]$$

$$Demanda\ energética_{EIM} = 14 \left[\frac{h}{día} \right] * 1.56 [W] = 21.85 \left[\frac{Wh}{día} \right]$$

Este cálculo se realizó con las potencias máximas con el motivo de que los paneles puedan proveer la potencia necesaria cuando se presenten picos de consumo. La potencia que necesita proveer el generador de energía debe ser:

$$P_{G\ nominal} = \frac{Demanda\ energética}{HS * PR}$$

$$P_{G\ nominal\ MEM} = \frac{25.16 \left[\frac{Wh}{día} \right]}{4.3245 \left[\frac{h}{día} \right] * 0.3308} \approx 17.58W$$

$$P_{G\ nominal\ EIM} = \frac{21.85 \left[\frac{Wh}{día} \right]}{4.3245 \left[\frac{h}{día} \right] * 0.3308} \approx 15.27W$$

5) Factor de Seguridad

El Factor de seguridad será

$$F_{SG} = \frac{1}{PR} = \frac{1}{0.3811} = 3.02$$

6) Número de paneles y configuración

Debido a que en el mercado no existen paneles de 15W o 18W, se eligen paneles comerciales de 20W, por lo que el número de paneles a utilizarse será:

$$N_p = \frac{P_{G\ nominal}}{Potencia\ pico\ del\ panel}$$

$$N_{p\ MEM} = \frac{17.58}{20} = 0.88 \approx 1$$

$$N_{p\ EIM} = \frac{15.27}{20} = 0.76 \approx 1$$

Debido a que son 2 EIM y 1 MEM, el número total de paneles que se utilizaran en este proyecto son:

$$N_{p\text{Total}} = 2 * N_{p\text{EIM}} + N_{p\text{MEM}} = 2 + 1 = 3$$

Los paneles fotovoltaicos conseguidos son de la marca SolarPlus y cuentan con las siguientes características y estándares de fabricación.

	
Technical Data	
MODULE TYPE: GP-020P-36	
Peak Power(Pmax)	(W): 20
Production Tolerance	(%): ±3
Maximum Power Current (Imp)	(A): 1.11
Maximum Power Voltage (Vmp)	(V): 18.0
Short Circuit Current (Isc)	(A): 1.18
Open Circuit Voltage (Voc)	(V): 21.8
Weight	(Kg): 1.7
Dimensions	(mm): 440*350*18
Maximum System Voltage	(VDC): 600
Wind Resistance	(Pa): 2400
All technical data at standard test condition AM=1.5 E=1000W/m ² Tc=25°C	
   	
WARNING ELECTRICAL HAZARD THIS UNIT PRODUCES DC ELECTRICITY WHEN EXPOSED TO LIGHT. COVER GLASS BEFORE REMOVING TERMINAL JUNCTION BOX LID.	
	
Solar Plus Energy S.A.S www.solarplusonline.com Cell:+011(57)313.733.08.83 Mail:comercial@solarplusonline.com	

Figura 85. Características de los paneles fotovoltaicos

7) Capacidad de la batería

Como ya se mencionó en la sección 3.7.4, la autonomía de la MEM será de 7 días, y de la EIM será de 4 días. Para este caso, se utilizará las potencias promedio debido a que la batería debe sustentar a los sistemas a mediano plazo. La capacidad de las baterías será:

$$C_{bat} = \frac{\text{Demanda energética} * \text{días de autonomía}}{PdD * \text{Voltaje del sistema}} [Ah]$$

$$C_{bat\ MEM} = \frac{15.16 \left[\frac{Wh}{día} \right] * 7 [día]}{0.6 * 12[V]} = 14.73[Ah] \approx 15[Ah]$$

$$C_{bat\ EIM} = \frac{18.44 \left[\frac{Wh}{día} \right] * 4 [día]}{0.6 * 12[V]} = 10.24[Ah] \approx 10[Ah]$$

Las baterías conseguidas comercialmente son de ácido plomo regulada por válvula (VRLA) de celdas de gel de 12V con 8.5 Ah de la marca EATON con las siguientes características:



Figura 86. Características de la batería VRLA Gel

8) Número de baterías y configuración

En el mercado, la opción más accesible es una batería de Gel o VRLA de 12 V, con una capacidad de 7Ah y de 9Ah, por lo que la configuración para la MEM será de 2 baterías en paralelo y para la EIM será una sola batería. Teniendo un total de 4 Baterías.

9) Perdidas eléctricas en el cableado debido a las caídas de tensión

La corriente que circulará en ambos sistemas será:

$$I = \frac{P}{V}$$

La potencia será la nominal de los paneles que alimentaran a los sistemas para obtener la más alta corriente por lo que:

$$I = \frac{20}{12} = 1.67A$$

La caída porcentual de tensión será de 2%:

$$12 * 2\% = 0.24V$$

La resistencia del Cable será de:

$$R = \frac{V}{I}$$

$$R = \frac{0.12[V]}{1.66[A]} = 0.07\Omega$$

Los cables serán de cobre y su longitud no será mayor a 10m, por lo que la sección mínima del cable será:

$$S = \rho \frac{L}{R}$$

$$S = 0.017241 * \frac{10}{0.07} \approx 1.2mm^2$$

Los cables de alimentación se encontrarán dentro de la estructura y se expondrá al calor acumulado, por lo que se necesita protección extra y el cable debe contar con una chaqueta.

Se utilizará cable flexible THHN de color negro y rojo de calibre 16AWG.

10) Elección del controlador de carga para la instalación

La corriente que manejará el controlador de carga será:

$$I_{G \text{ máx}} = N_p \cdot I_{SC}$$

$$I_{G \text{ máx}} = 1.66A$$

Por lo que se puede utilizar los controladores de carga comerciales que soporten una corriente de 1.66A en adelante para ambos sistemas. En el mercado existen a partir de 10A para este tipo de sistemas. Se tendrá un total de 3 estos controladores de carga.

Los controladores empleados para cada sistema funcionan con la técnica de modulación de ancho de pulso (PWM, por sus siglas en inglés) empleado para controlar voltaje y corriente que se suministra a la carga y a la batería dependiendo de la etapa. Tienen las siguientes características técnicas.

TECHNICAL PARAMETER			
MODEL	Kw1210	Kw1220	Kw1230
Batt voltage	12V/24V auto		
Charge current	10A	20A	30A
Discharge current	10A	10A	10A
Max solar input	12V battery, the highest 23V; 24V battery when the highest 46V		
Equalization	B1 sealed	B2 gel	B3 flood
	14.4V	14.2V	14.6V
Float charge	13.7V (default,adjustable)		
Discharge stop	10.7V (default,adjustable)		
Discharge reconnect	12.6V(default,adjustable)		
Charge reconnect	13V		
Voltage of open light	Solar panel 8V(Light lights delay)		
Voltage of close light	Solar panel 8V(Light off delay)		
USB output	2 way USB output, 5V/2.5A(MAX)		
Self-consume	<10mA		
Operating temperature	-35 ~ +60C		
Size/Weight	133.5 * 70 * 35mm / 165g		

*All red color voltage x2 while using 24V system
 *This instruction is a general manual, such as a slight difference in the physical.
 *Product specifications are subject to change without prior notice

Figura 87. Parámetros técnicos para controlador de carga

Este controlador cumple con las cuatro etapas de carga de una batería:

- **BULK:** Da el primer impulso de carga, utilizando la máxima potencia del sistema sea MEM o EIM.
- **Absorción:** Mantiene la tensión conseguida en la etapa BULK y disminuye la corriente progresivamente para asegurar la carga de la batería.
- **Ecuilización:** Iguala el voltaje de las celdas

- Flotación: Mantiene la carga durante la utilización y cuando el nivel este por debajo del rango de flotación se reinicie el proceso de carga de la batería en este caso los voltajes de flotación están entre 13.5V y 13.8V.

Para la configuración del controlador de carga se debe considerar el manual de usuario de la

Figura **88** y la batería utilizada.

En este caso, el voltaje flotante de la batería en la Figura 86 esta entre 13.5V y 13.8V, por lo que se configura con 13.5V.

Si por algún motivo, la batería se descarga y se realiza una desconexión de carga, la batería no puede alimentar a ninguna carga hasta que tenga cierto valor de voltaje. Según el Manual, se debe configurar a un valor recomendado de 12.6V, para que la carga se reconecte si el voltaje de la batería es mayor a dicho limite

Si el sistema no recibe energía del sol, la fuente de alimentación es sustentado por la batería, sin embargo, cuando se descarga demasiado una batería puede sufrir daños. Debido a eso la configuración de desconexión de carga se realiza a los 10.7V.

El controlador de carga puede ser programado para funcionar en ciertos momentos. Si se decide trabajar a "0H", el controlador de carga automáticamente alimenta a la carga desde el anochecer hasta el amanecer. Si se elige un valor entre 0 y 23, el controlador alimentara la carga durante ese tiempo a partir del anochecer. En nuestro caso, se configura en el valor "24H" debido a que la MEM tomará datos las 24 horas del día y la EIM trabajará en horas del día.

La equalización de la batería permite mantener un voltaje igual en todas las celdas de baterías. El controlador viene con configuraciones preprogramadas para distintos tipos de baterías. Debido a que las baterías utilizadas son VRLA selladas se elige la configuración B1 "Battery Sealed".

Para sistemas fotovoltaicos con diferentes características se deben utilizar valores cercanos a las mostradas en la Figura 87.

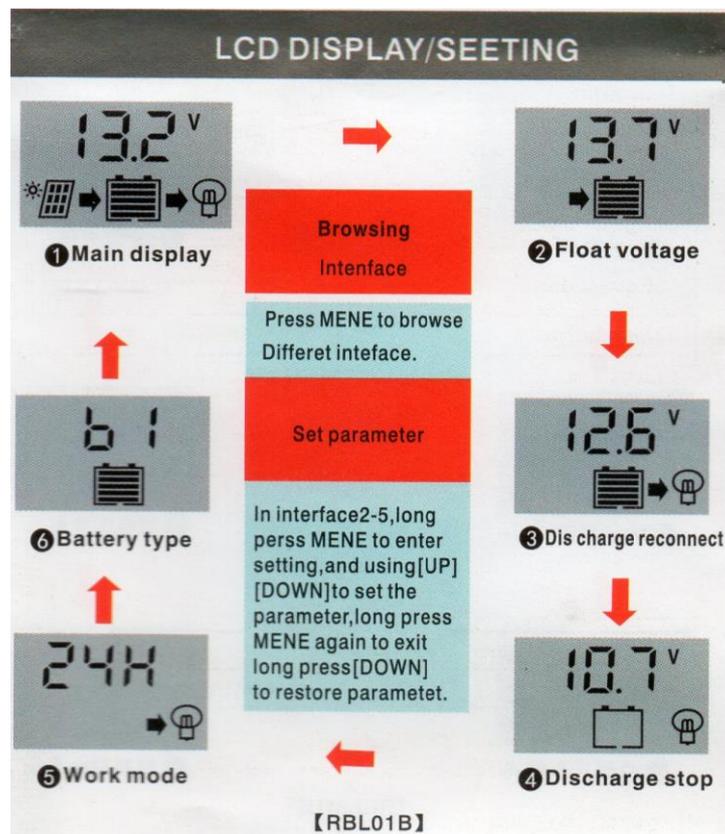


Figura 88. Parámetros técnicos para controlador de carga

4.6.1 Resumen de los sistemas fotovoltaicos

Tabla 21.

Valores de los elementos de la ISFV para MEM

Parámetro	Unidades	Valor	Comentario
P_G nominal	W	15.26	Potencia pico del generador
C_B nominal	Ah	14.73	Capacidad nominal del acumulador
$PD_{m\acute{a}x}$		60%	Profundidad de descarga maxima
Rendimiento del controlador de carga		$\geq 70\%$	
V_{on}	V	12	Tensión nominal de la instalación
L_{dm}	Wh	15.16	Consumo Diario
Factor de Seguridad		2.62	
Días de autonomía		7	

Tabla 22.
Valores de los elementos de la ISFV para la EIM

Parámetro	Unidades	Valor	Comentario
$P_G \text{ nominal}$	W	10.42	Potencia pico del generador
$C_B \text{ nominal}$	Ah	10.06	Capacidad nominal del acumulador
$PD_{m\acute{a}x}$		60%	Profundidad de descarga máxima
Rendimiento del controlador de carga		$\geq 70\%$	
V_{on}	V	12	Tensión nominal de la instalación
L_{dm}	Wh	14.49	Consumo Diario
Factor de Seguridad		2.62	
Autonomía		4	

4.6.2 Normativa de los sistemas fotovoltaicos

La Norma Aplicada en este proyecto tanto en EIM como MEM es la norma NEC-11 Cap.14 con especial detalle en las secciones 14.2.2.7. Sistemas fotovoltaicos, 14.2.6. Diseño de sistemas fotovoltaicos, dimensionamiento y las especificaciones sobre los elementos del sistema fotovoltaicos aislados.

4.7 Integración de soluciones para IoT en el presente proyecto

Aquí se describirá como el sistema cumple con las funciones IoT y como recorre el modelo de capas del IoT y Smart Cities.

- Interconectividad: Haciendo uso de las redes WLAN (WiFi) y LPWAN (LoRa) se logra la comunicación a larga distancia (MEM - EIMs) y así como la conexión con la nube de Firebase (MEM - Internet).
- Servicios relacionados con objetos: El programa realizado en el ESP32 y la aplicación web en el servidor embebido contemplan registros locales por minuto (gráficas) y por hora (históricos) tanto en EIM como en MEM.

- Heterogeneidad: Los dispositivos están distribuidos en una topología de red estrella para LoRa y una topología de árbol para WiFi, cada uno cuenta con su propio hardware.
- Cambios dinámicos: La comunicación LoRaWAN, lectura de sensores y procesamiento de datos en la MEM están programados de tal manera que optimizan el consumo energético, logrando la auto sustentabilidad energética.
- Escala enorme: Tanto la MEM como las EIM, tienen la capacidad de extenderse localmente construyendo una red WiFi de tipo WLAN (Wireless Local Area Network), configurado como Access Point.

En la Figura 89 se muestra como el presente proyecto coincide con el modelo de capas propuesto en la sección 2.3.1.2 para una Ciudad Inteligente.

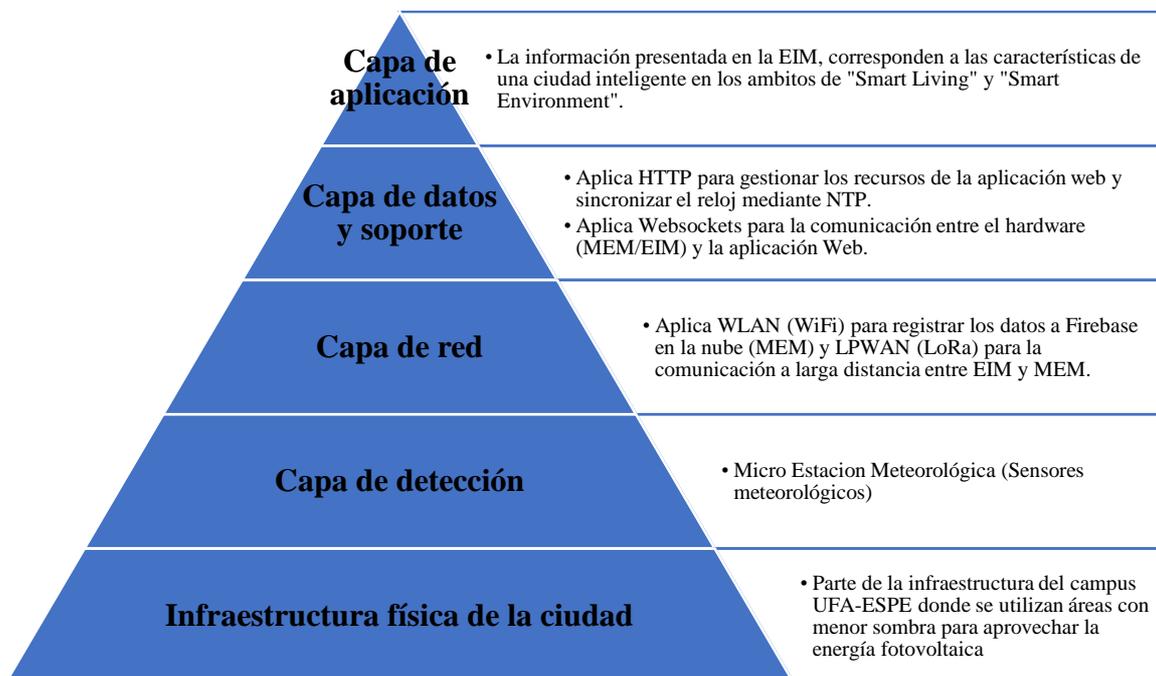


Figura 89. Modelo de capas para Ciudades Inteligentes en el presente proyecto

4.8 Diseño de placas en CAD Electrónico

Para el diseño de las placas de circuito impreso donde se montarán los elementos de los sistemas se emplea Autodesk Eagle con licencia Estudiantil.

4.8.1 Consideraciones para la placa de la micro estación meteorológica (MEM)

La alimentación de esta placa se lo realiza con la ayuda de una bornera de 2 entradas. El voltaje entregado por el sistema fotovoltaico, es superior a la que soportan los sensores y la placa de desarrollo, por lo que se considera agregar un convertidor DC-DC reductor para obtener un voltaje de 3.3V. Las conexiones a los sensores se realizan con conectores Molex y cable tipo BUS para asegurar una buena conexión y permita un reemplazo fácil de elementos. Cuenta con un botón de RESET y un switch principal. Con estas consideraciones se obtiene el diagrama de la Figura 90 y a partir de ello se obtiene la placa mostrada en la Figura 91 y la Figura 92.

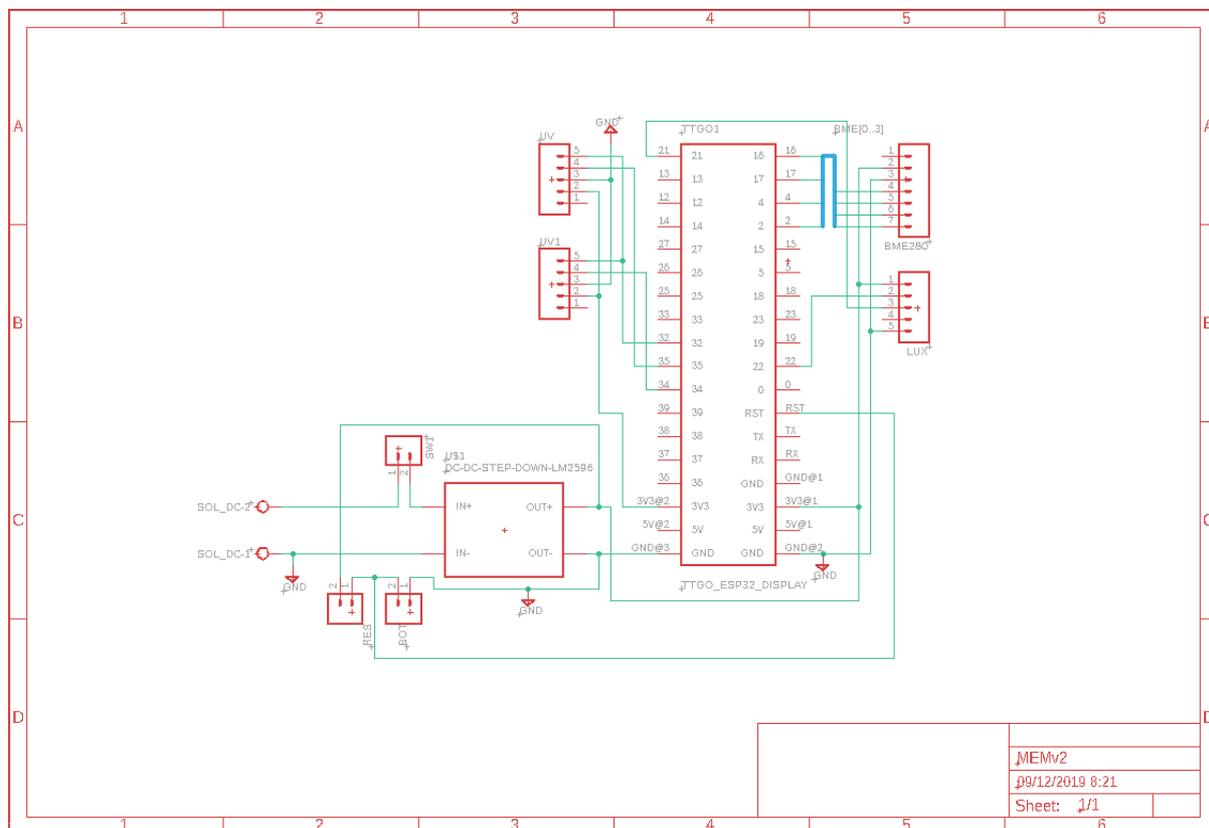


Figura 90. Diagrama esquemático de la MEM

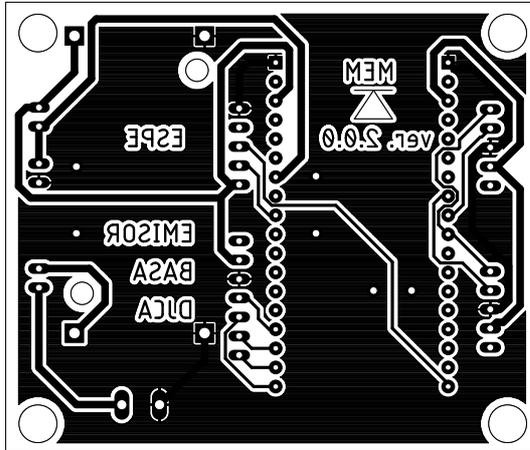


Figura 91. Rutas de cobre de la MEM
(Bottom)

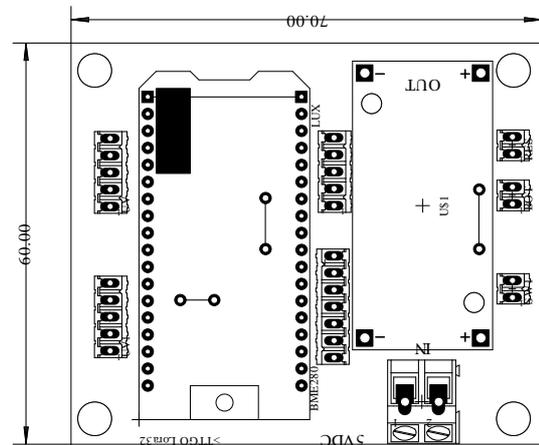


Figura 92. Mascara de elementos de la
MEM (Top)

4.8.2 Consideraciones para la placa de la estación de información meteorológica (EIM)

Al igual que la MEM, la alimentación desde el sistema fotovoltaico se realiza con una bornera de 2 entradas, sin embargo, esta placa facilitará la adaptación a una entrada AC de 110V, por lo que se incluye una bornera, un switch y un conversor AC-DC Hi-link. Estos últimos no serán implementados debido a que este proyecto será autosustentable, pero ayudará a ser versátil por lo tanto también se implementa 2 JUMPERS que permitirán seleccionar la fuente de alimentación o permitir que sea una alimentación híbrida. Cuenta también con un botón RESET y con un switch principal. La conexión de datos al panel RGB se lo realiza con conectores Molex para asegurar una buena conexión. Con estas consideraciones se obtiene el diagrama de la Figura 93 y a partir de ello se obtiene la placa mostrada en la Figura 94 y la Figura 95.

Luego de obtener las placas impresas y de montar los elementos en la misma, se obtienen las placas que se observan en la Figura 96

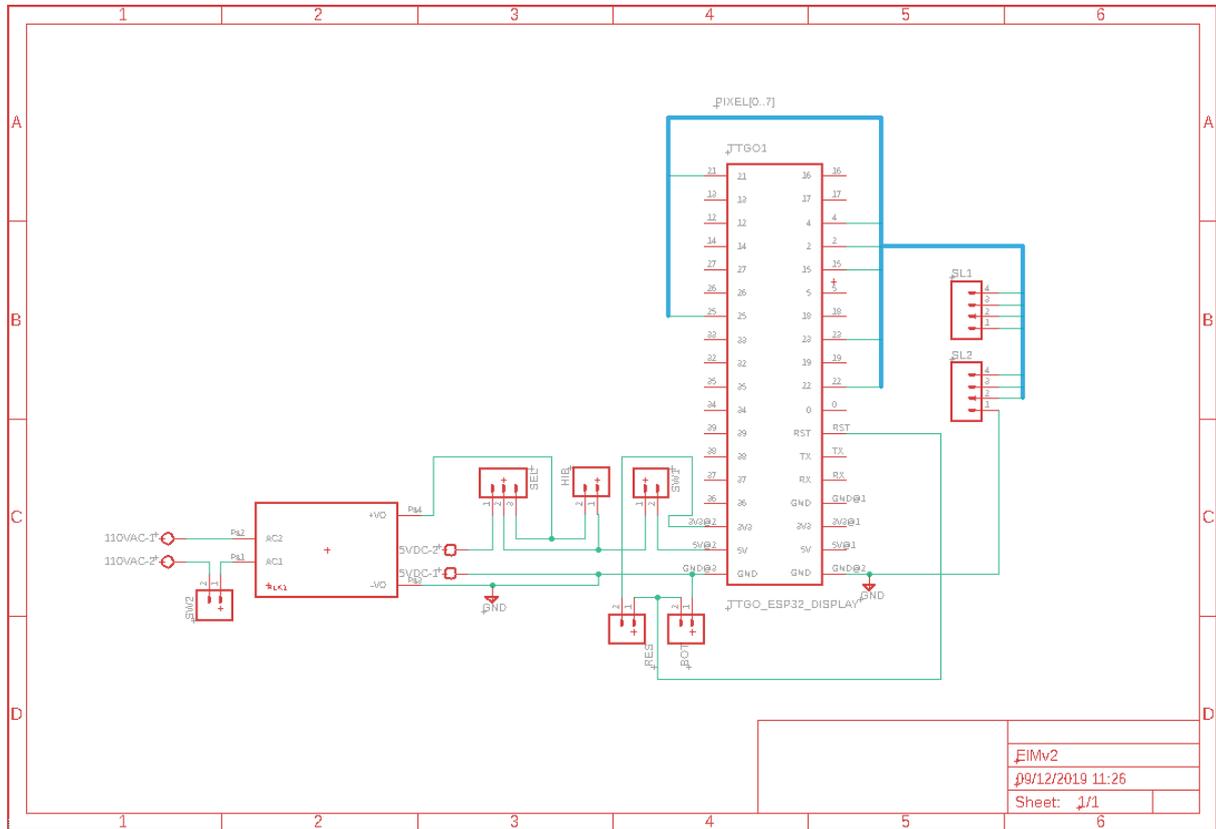


Figura 93. Diagrama esquemático de la EIM

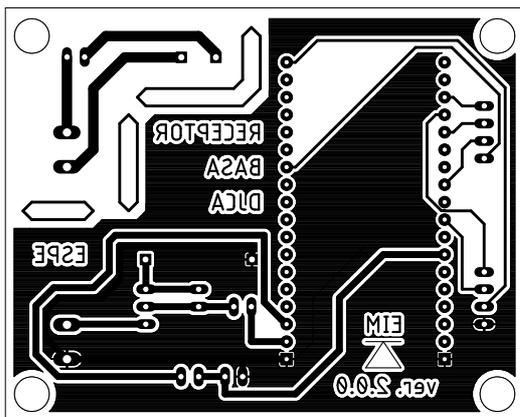


Figura 94. Rutas de cobre de la EIM (Bottom)

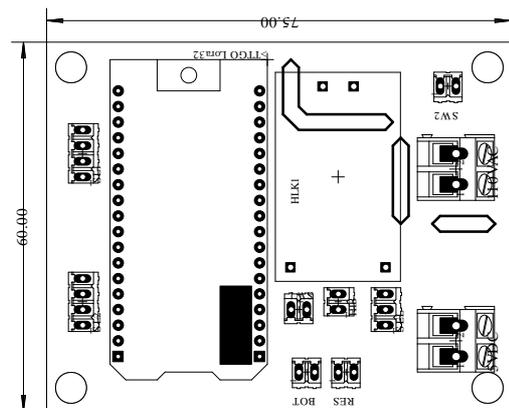


Figura 95. Mascara de elementos de la EIM (Top)

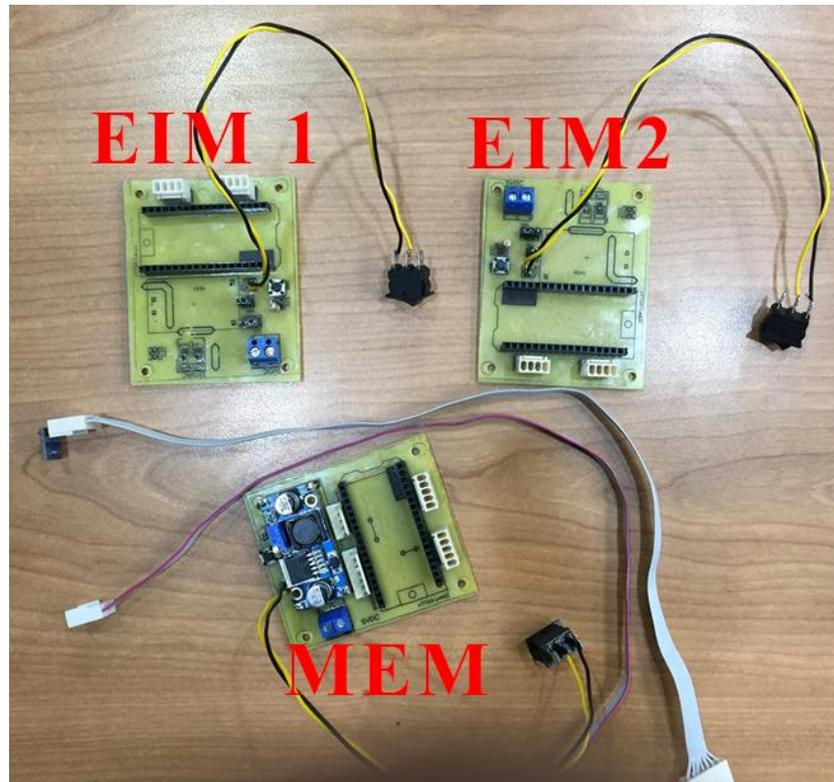


Figura 96. PCB diseñadas, elaboradas en placa de baquelita.

4.9 Diseño de las estructuras en CAD 3D

4.9.1 Consideraciones físicas para una Estación Meteorológica completa

- Debido a que los dispositivos que serán tratados en este trabajo se encontrarán a la intemperie, la protección recomendada debe ser similar a la protección IP67.
- Las estructuras que den alojamiento a los circuitos electrónicos deben ser resistentes a la oxidación y que logren soportar las condiciones climáticas de la intemperie.
- Es recomendable que los sensores y los módulos utilizados tengan una conexión fácil y rápida, esto facilitará el mantenimiento también el reemplazo de elementos desgastados o dañados.
- Se debe establecer un periodo para el mantenimiento debido a partículas de polvo o interferencia de animales para asegurar un funcionamiento adecuado a largo plazo.

(Palaguachi, 2018)

4.9.2 Consideraciones para la estructura de la micro estación meteorológica (MEM)

Para el diseño e instalación de la estructura de la micro estación meteorológica, se debe tener en cuenta las recomendaciones realizadas para las estaciones meteorológicas.

4.9.2.1 Consideraciones para los sensores recomendadas por la WMO

Las siguientes consideraciones se encuentran más generalizadas que las presentadas por Bautista, Gosgot, Meza, Perez, Ramirez, & Santillan (2016), debido a que consideran a una Estación Meteorológica completa, la cual es capaz de medir aún más variables que las tratadas en este trabajo. Esto permite que se tengan recomendaciones que estén acorde al proyecto en desarrollo.

- La micro estación debe instalarse en un terreno llano o espacio plano. Este lugar debe tener un suelo con un césped corto o de un material representativo de la localidad. Se debe priorizar la seguridad para evitar el uso y acceso de personas no autorizadas.
- Alrededor de las micro estaciones, no deben existir pendientes empinadas. Por ende, no se recomienda ubicar una micro estación en una hondonada para una mejor lectura de datos.
- La micro estación debe estar lo suficientemente alejado de obstáculos que puedan interferir con la medida de las variables. Para estaciones meteorológicas, la distancia mínima con los obstáculos debe ser el doble de la altura.
- Los sensores deben tener una ubicación con la exposición a la variable que se va a medir, que logre satisfacer los requisitos del sensor y que este cerca a los otros instrumentos. Por factores externos es posible que se requiera cambiar la ubicación de un sensor.

- Las condiciones del lugar deben ser satisfactorios para la mayor parte de instrumentos.

(Bautista, y otros, 2016)

4.9.3 Consideraciones para la estructura de la estación de información meteorológica (EIM)

Debido a que la estructura de la EIM se encontrara a la intemperie en lugares concurridos dentro del campus, debe contar con una protección similar a la IP65 para que no ingrese el agua proveniente de la lluvia ni elementos solidos (como el polvo) que puedan ocasionar daños a los circuitos electrónicos.

Debe resistir a los vientos y tener el espacio suficiente para el panel fotovoltaico, la infografía, la batería, el controlador y el panel informativo por lo que el material recomendado puede ser acero o hierro con pintura anticorrosiva para exteriores.

El panel informativo LED debe estar protegido con una visera para mejorar la visibilidad de la información presentada y evitar daños por la lluvia.

Es recomendable que la estación sea empotrada al suelo mediante una obra civil, para que la estabilidad y resistencia de dicha estación sean mayores y adecuados.

4.9.4 Diseño de las estaciones

Tomando en cuenta las consideraciones mencionadas con anterioridad, se realizaron estructuras sencillas. Estas son lo suficientemente resistentes, con ayuda de soldadura y tornillos, para que soporten el peso de los elementos electrónicos y esfuerzos mecánicos.

Para la MEM, se optó por separar el sistema fotovoltaico de la tarjeta de desarrollo y los sensores, debido a que según las consideraciones es posible modificar la ubicación de los mismos a lo largo del tiempo, por lo que su estructura mostrada en la Figura 97 alojara solo al sistema fotovoltaico mientras que una caja hermética empotrada alojará a los sensores como se muestra en la Figura 98.

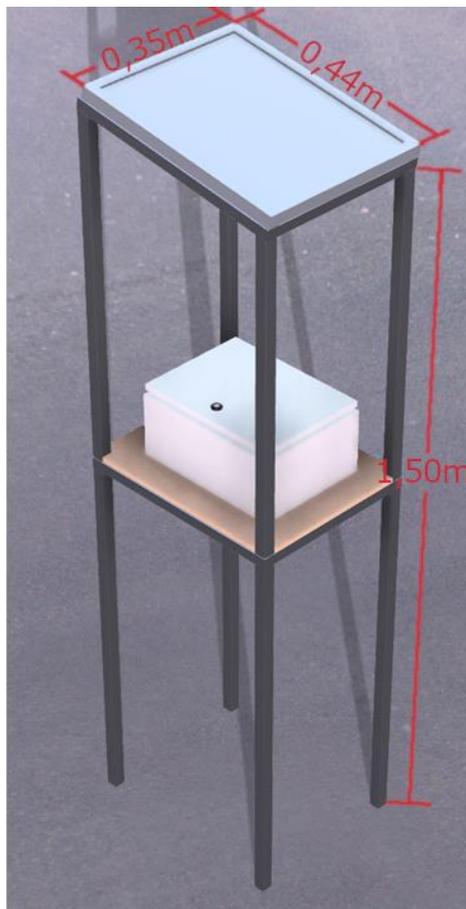


Figura 97. Renderizado de diseño MEM soporte de sistema fotovoltaico

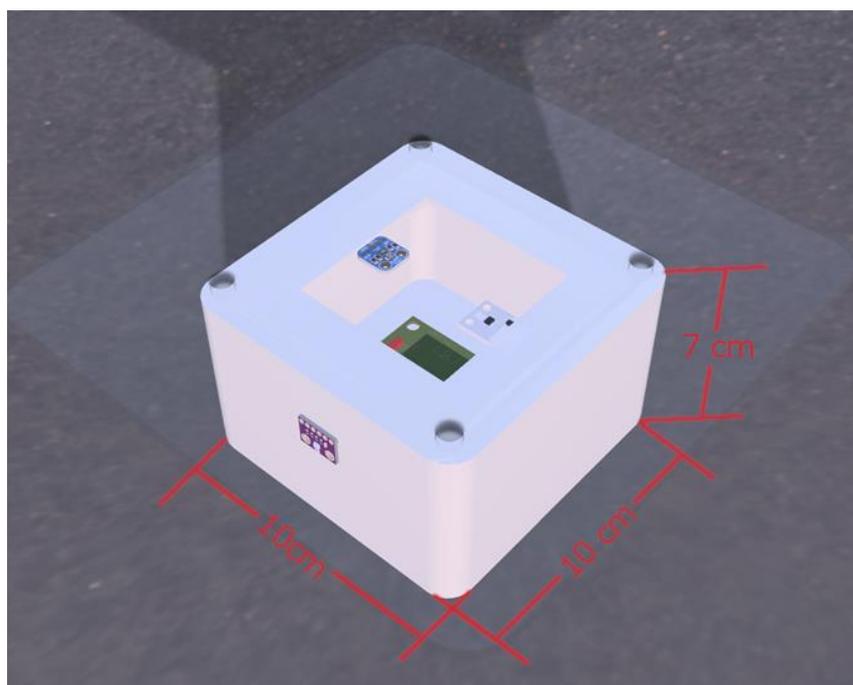


Figura 98. Renderizado de diseño MEM electrónica y sensores



Figura 99. Infografía de uso EIM

La estructura de la EIM aloja tanto el controlador, la pantalla LED, la infografía mostrada en la Figura 99 (conocer el funcionamiento e información del dispositivo, y como acceder al servidor web embebido para visualizar la aplicación web) y el sistema fotovoltaico. Para que la estructura sea más estable, la mayor parte del peso debe estar alojado en su base, donde la batería y el panel LED en una zona visible, deben ser cubiertas con planchas de tol galvanizado y remaches. Esta estructura debe permitir visualizar el panel LED a la mayoría de personas para esto se ha considerado una altura de 2m desde el pie al soporte, para que el panel LED, se encuentre a una altura cómoda de visualizar para un transeúnte con estatura promedio de 1.80m como se muestra en la Figura 100.

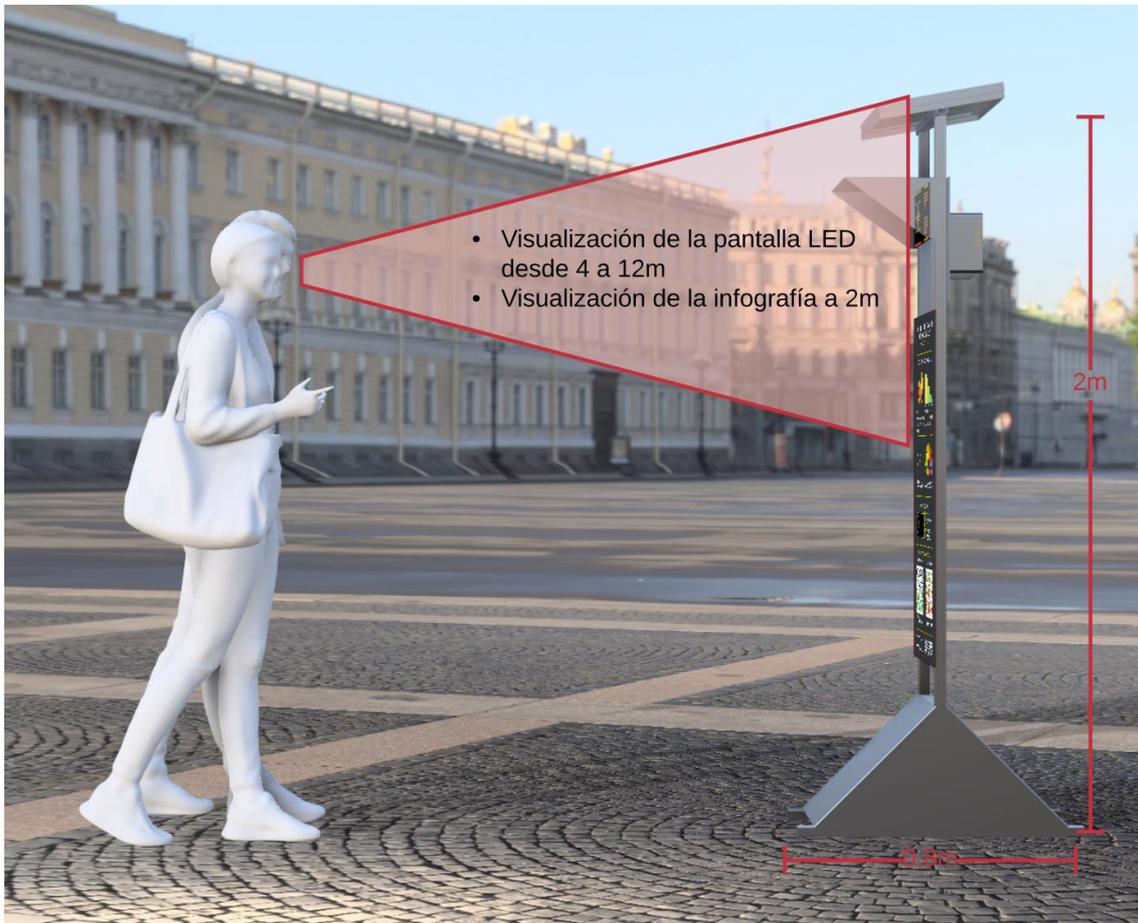


Figura 100. Renderizado de diseño de EIM

Los planos acotados de estas estructuras se encuentran en el ANEXO 4.

CAPÍTULO V: IMPLEMENTACIÓN DEL PROTIPO

5.1 Presupuesto de implementación

Los componentes eléctricos y electrónicos necesarios para la implementación de la MEM y de la EIM se detallan en la Tabla 23 y Tabla 24 respectivamente, donde se toman en cuenta también accesorios y complementos necesarios para que la implementación sea la adecuada para este proyecto.

Tabla 23.

Presupuesto electrónico para la implementación de la MEM

Cant	Objeto	P. unitario	Subtotal
2	Batería 12V 7Ah de Gel	\$ 20,00	\$ 40,00
1	Bornera de 2	\$ 1,00	\$ 1,00
2	Conectores Panel Fotovoltaico	\$ 1,66	\$ 3,32
1	Convertidor DC-DC	\$ 3,95	\$ 3,95
2	Diodos de Protección	\$ 0,26	\$ 0,52
1	Interruptor	\$ 0,45	\$ 0,45
1	LoRa TTGO	\$ 45,00	\$ 45,00
5	Metros de Cable THHN negro 16 AWG	\$ 0,23	\$ 1,15
5	Metros de Cable THHN rojo 16 AWG	\$ 0,23	\$ 1,15
0,5	Metros de cables BUS (x16)	\$ 1,90	\$ 0,95
6	Molex de 5	\$ 0,30	\$ 1,80
2	Molex de 7	\$ 0,70	\$ 1,40
1	Panel Fotovoltaico de 20W	\$ 23,36	\$ 23,36
1	Paquete de 40 Espadines H	\$ 0,75	\$ 0,75
1	Placa Impresa	\$ 5,00	\$ 5,00
1	Pulsador	\$ 0,15	\$ 0,15
1	Controlador de carga de 10A	\$ 15,28	\$ 15,28
1	Resistencia 10k	\$ 0,02	\$ 0,02
0,3	Metros cable de timbre	\$ 0,50	\$ 0,15
TOTAL			\$ 145,40

Tabla 24.

Presupuesto electrónico para la implementación de una EIM

Cant	Objeto	P. unitario	Subtotal
1	Batería 12V 9Ah de Gel	\$ 23,00	\$ 23,00
1	Bornera de 2	\$ 1,00	\$ 1,00
2	Conectores Panel Fotovoltaico	\$ 1,66	\$ 3,32
1	Convertidor DC-DC	\$ 3,95	\$ 3,95
2	Diodos de Protección	\$ 0,26	\$ 0,52
1	Interruptor	\$ 0,45	\$ 0,45

CONTINÚA 

2	Jumper	\$	0,10	\$	0,20
1	LoRa TTGO	\$	45,00	\$	45,00
0,5	Metro de BUS (x16)	\$	1,90	\$	0,95
0,5	Metros cable de timbre	\$	0,50	\$	0,25
1	Metros cable gemelo Flexible	\$	1,00	\$	1,00
2,5	Metros de Cable THHN negro 16 AWG	\$	0,23	\$	0,58
2,5	Metros de Cable THHN rojo 16 AWG	\$	0,23	\$	0,58
2	Molex de 4	\$	0,40	\$	0,80
1	Panel Fotovoltaico de 20W	\$	23,36	\$	23,36
1	Panel RGB 32x16	\$	40,00	\$	40,00
1	Paquete de 40 Espadines H	\$	0,75	\$	0,75
0,5	Paquete de 40 Espadines M	\$	0,75	\$	0,38
1	Placa Impresa	\$	5,00	\$	5,00
1	Pulsador	\$	0,15	\$	0,15
1	Controlador de carga de 10A	\$	15,28	\$	15,28
1	Resistencia 10k	\$	0,02	\$	0,02
TOTAL				\$	166,53

Los gastos totales de la parte electrónica se presentan en la Tabla 25

Tabla 25.

Resumen de presupuestos de la parte electrónica

Estación	Subtotal
MEM	\$145,40
EIM1	\$166,53
EIM2	\$166,53
Total	\$478,45

Por otra parte, en la Tabla 26 y la Tabla 27, se detalla el presupuesto para las mismas estaciones de la parte estructural.

Tabla 26.

Presupuesto estructural para la implementación de la MEM

Cant	Objeto	P. unitario	Subtotal
1	Acrílico transparente A3	\$ 2,00	\$ 2,00
1	Caja Hermética 10x10x7 cm	\$ 1,50	\$ 1,50
1	Caja Hermética 30x20x15 cm	\$ 22,00	\$ 22,00
1	Estructura para Panel y Baterías	\$ 50,00	\$ 50,00
2,5	Metros Tubo corrugado 3/4"	\$ 0,50	\$ 1,25
1	Pernos y Accesorios	\$ 6,00	\$ 6,00
2	Prensa Estopa 14,76mm	\$ 0,18	\$ 0,36
4	Ruedas	\$ 0,60	\$ 2,40
4	Separadores de Plástico para Placas	\$ 0,45	\$ 1,80
1	Tabla MDF 32x44x0,9 cm	\$ 3,00	\$ 3,00

TOTAL	\$ 90,31
--------------	----------

Tabla 27.

Presupuesto estructural para la implementación de una EIM

Cant	Objeto	P. unitario	Subtotal
1	Acrílico negro difusor 32x16	\$ 5,00	\$ 5,00
1	Caja Hermética 21x17x10,5 cm	\$ 9,03	\$ 9,03
1	Estructura para Panel y Baterías	\$ 80,00	\$ 80,00
1	Gigantografía 1x0,42 m en lona	\$ 5,00	\$ 5,00
0,4	Metros Tubo corrugado 3/4"	\$ 0,50	\$ 0,20
1	Pernos y Accesorios	\$ 12,00	\$ 12,00
2	Prensa Estopa 14,76mm	\$ 0,18	\$ 0,36
4	Separadores de Plástico para Placas	\$ 0,45	\$ 1,80
1	Tabla MDF 200x42x0,6 cm	\$ 10,00	\$ 10,00
1	Tabla MDF 22x17x0,4 cm	\$ 3,00	\$ 3,00
TOTAL			\$ 126,39

Los gastos totales de la parte estructural se presentan en la Tabla 28

Tabla 28.

Resumen de presupuestos de la parte estructural

Estación	Subtotal
MEM	\$90,31
EIM1	\$126,39
EIM2	\$126,39
Total	\$343,10

El resumen de gastos global se muestra en la Tabla 29

Tabla 29.

Resumen de presupuesto total

Estación	Subtotal Elect.	Subtotal Struc.	Subtotal
MEM	\$ 145,40	\$ 90,31	\$ 235,71
EIM1	\$ 166,53	\$ 126,39	\$ 292,92
EIM2	\$ 166,53	\$ 126,39	\$ 292,92
Total			\$ 821,55

5.2 Montaje del prototipo

Todos los elementos electrónicos tratados en capítulos anteriores se colocan en las estructuras descritas en la sección 4.9. Las estructuras de las EIM tienen orificios en la base

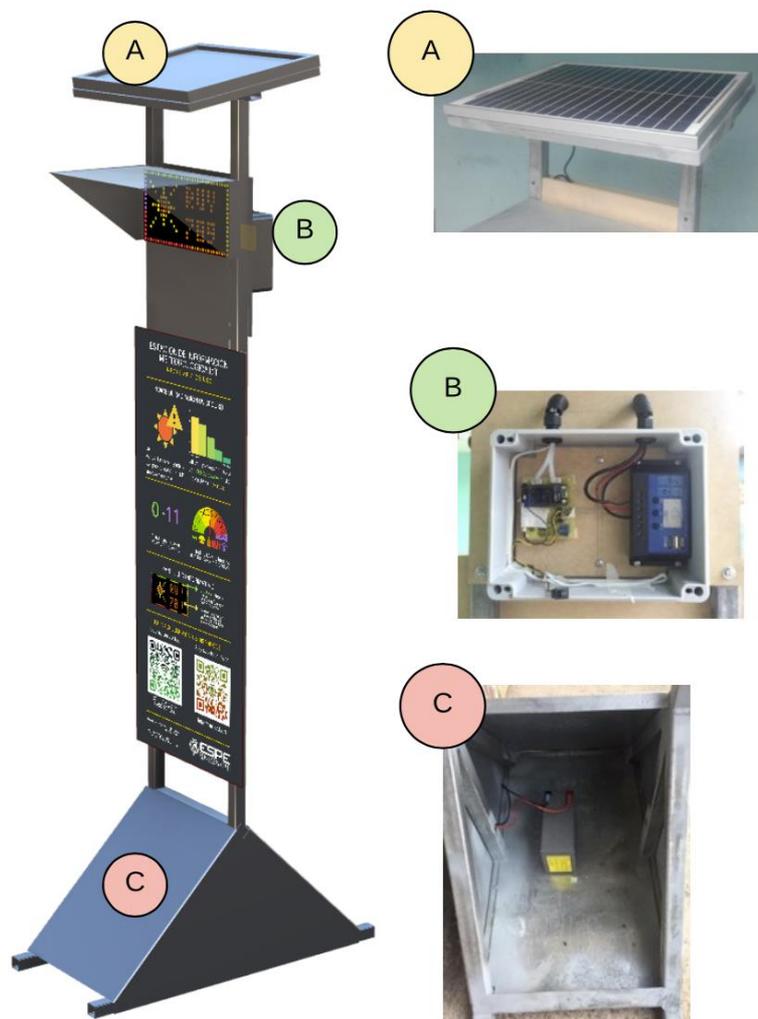
para colocar pernos de fijación al piso, con el objetivo de soportar esfuerzos mecánicos laterales, la estructura de la MEM al ser estable, se opta por ser móvil para ubicar de acuerdo a la necesidad. Con ayuda de cajas herméticas y elementos de sujeción. Por conveniencia se ha separado en 2 tipos de montajes.

5.2.1 Montaje del sistema Fotovoltaico

Siguiendo la teoría mostrada en la sección 2.11.5, el sistema fotovoltaico tanto para la MEM como para la EIM, son similares a la Figura 32. Las cargas para estos sistemas son los circuitos, sensores y pantallas.

El ángulo del panel fotovoltaico es fijo para dar una mayor rigidez ante vibraciones.

En la Figura 101 se puede observar fotografías del montaje del sistema fotovoltaico.



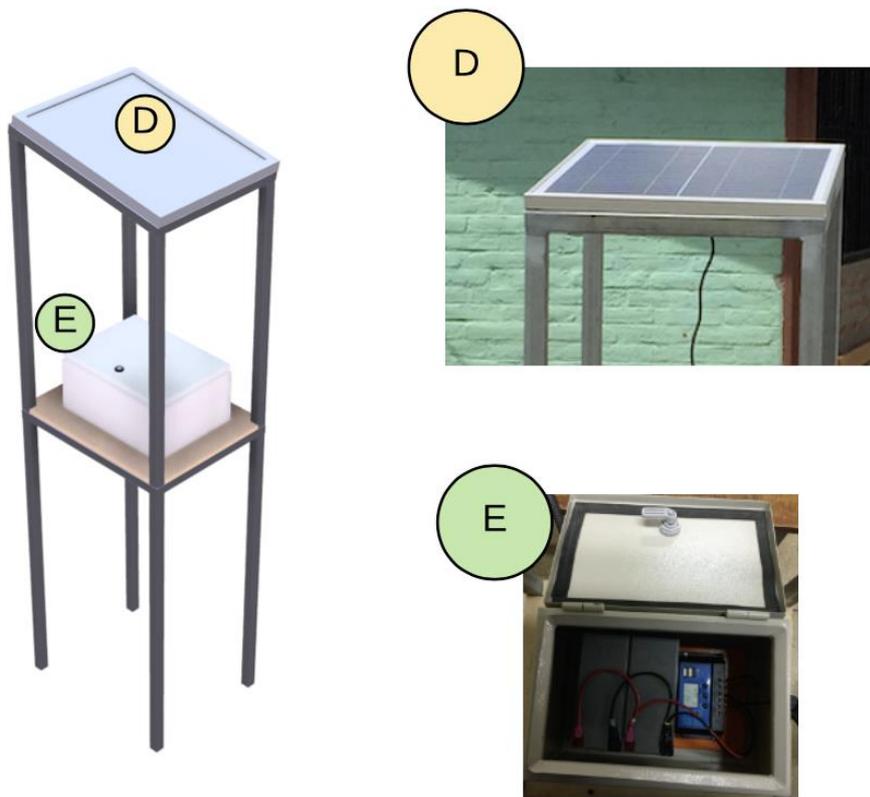


Figura 101. Instalación del sistema fotovoltaico: a) Panel fotovoltaico de la EIM, b) Controlador de carga de la EIM, c) Baterías de la EIM, d) Panel fotovoltaico de la MEM, e) Controlador de carga y baterías de la MEM

5.2.2 Montaje de Circuitos





c)

Figura 102. Cajas herméticas: a) 10x10x7cm para sensores y tarjeta de desarrollo MEM. b)20x17x10,5cm para las baterías y control de carga MEM. c) 30x20x15cm para la tarjeta de desarrollo y control de carga EIM

Los circuitos deben ser protegidos contra la intemperie, por lo que son montados dentro de cajas herméticas. Para el caso de la MEM, se utilizaron 2 cajas herméticas, una de 10x10x7cm Figura 102 .a) para los sensores y la tarjeta de desarrollo. Otra caja de 30x20x15 Figura 102 .c) se utilizó para alojar las baterías y el controlador de carga Figura 101 .e). Para el caso de la EIM, se utilizó una caja hermética 22x17x10.5 cm Figura 102 .b) para alojar a la tarjeta de desarrollo y el controlador de carga.

El resultado final de este montaje se puede observar en la Figura 103.

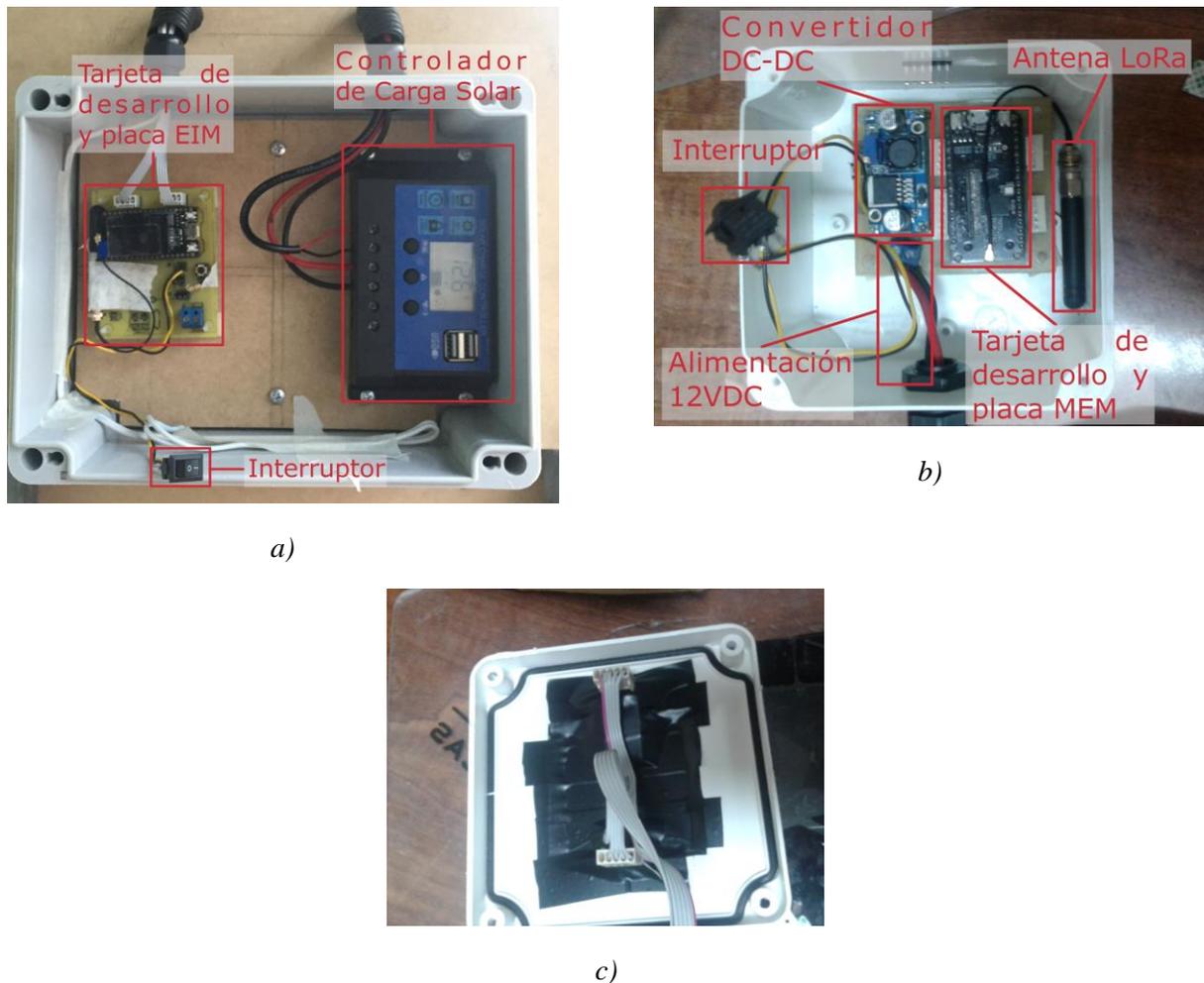
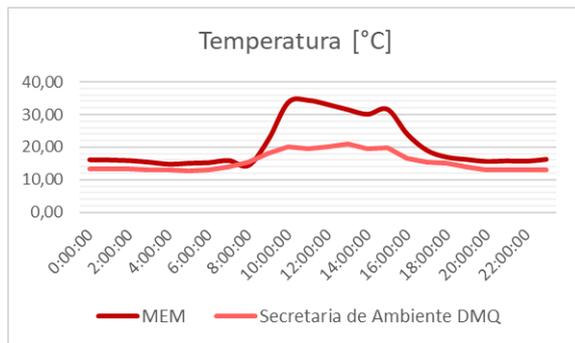


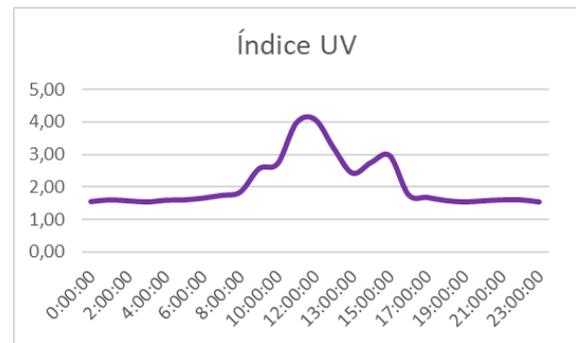
Figura 103. Montaje de circuitos: a) EIM. b) MEM (Caja). c) MEM (Tapa)

5.3 Pruebas de funcionamiento y comparación con los datos con entidades a fines

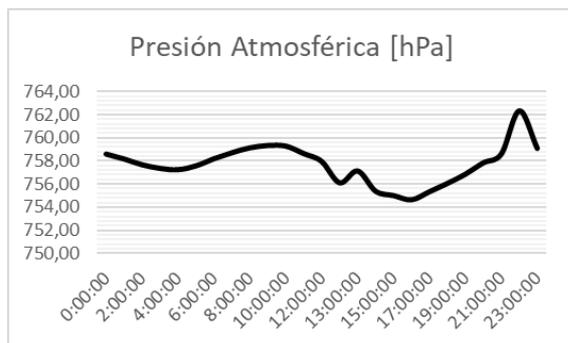
Los datos obtenidos por parte de la MEM, como ya se mencionó, se almacenaron en una base de datos durante una semana, de las cuales se extrajeron los resultados de sus medidas de un día y se obtuvo el promedio de cada hora para compararlo con una estación cercana. En la Figura 104 se puede observar las medidas realizadas por la MEM y por la estación “Los Chillos” en San Rafael de la Secretaría de Ambiente DMQ para la temperatura, humedad relativa, y Radiación UV



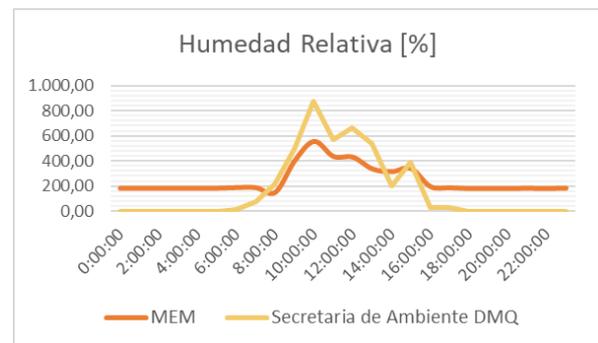
a)



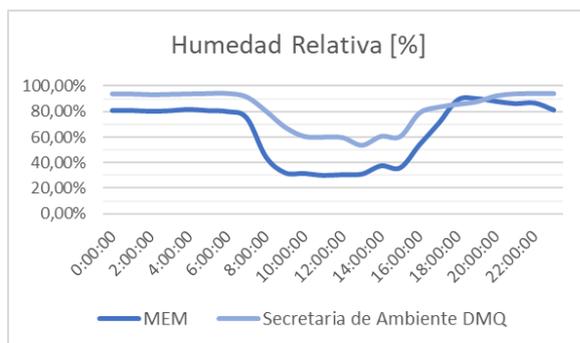
d)



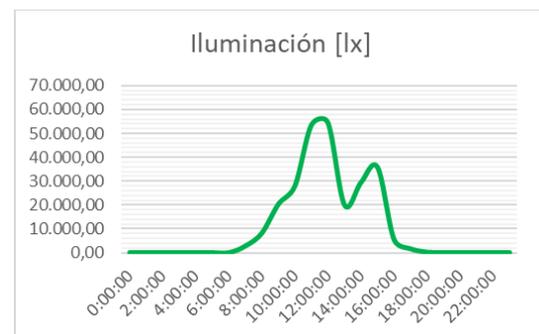
b)



e)



c)



f)

Figura 104. Datos obtenidos en un durante 24h con la MEM y la Secretaria de Ambiente DMQ: a) Temperatura, b) Presión, c) Humedad Relativa, d) Índice UV, e) Radiación UV, f) Iluminación

5.3.1 Calibración de Medidas

Como se puede observar en la Figura 104, se puede notar que la temperatura, la humedad relativa y la radiación UV obtenidas por la MEM siguen un patrón similar a las medidas realizadas por la estación “Los Chillos”. Se debe recordar que estas medidas son el promedio de cada hora. La radiación UV que llega a una superficie y el índice UV depende mucho de la cantidad de nubes, sombras y el grosor de la capa de ozono del lugar, por lo que

puede existir errores muy grandes entre lugares relativamente cercanos y durante un determinado tiempo.

Debido a que las mediciones fueron en lugares cercanos, para la calibración se considera que las medidas de temperatura, humedad relativa y radiación UV deben ser muy parecidas a las provistas por la Secretaría de Ambiente DMQ.

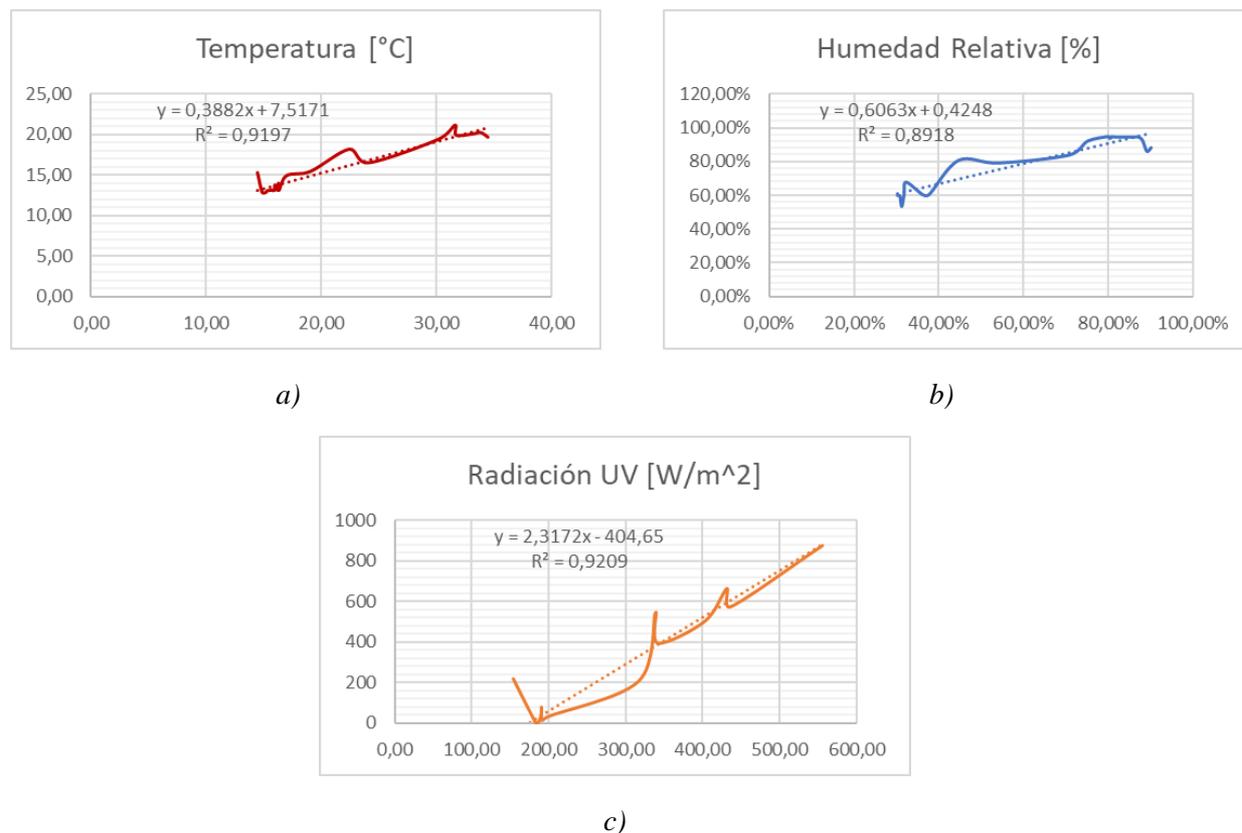


Figura 105. Comparación de datos y aproximación lineal de las mediciones de la MEM y datos de la Secretaría de Ambiente DMQ: a) Temperatura, b) Humedad Relativa, c) Radiación UV

La calibración de las variables tratadas en este proyecto será lineal, por lo que se determina una pendiente y un offset de calibración. Para lo cual se realiza una aproximación lineal entre las medidas realizadas por la MEM y las medidas de la Secretaría de Ambiente DMQ como se muestra en la Figura 105. En dichas gráficas, se puede notar que existe ruido en las mediciones y esto es debido a diferentes factores aleatorios entre ambas estaciones.

Los valores de calibración se resumen en la Tabla 30.
Coeficientes de Calibración lineal

y se modifican dentro del programa.

Tabla 30.

Coefficientes de Calibración lineal

Tabla de Calibración		
Variable	Pendiente	Offset
Temperatura	0,3882	7,5171
Presión Atmosférica	1	0
Humedad Relativa	0,6063	0,4248
Índice UV	0,951	0,0467
Radiación UV	2,3172	-404,65
Iluminación	1	0

La presión atmosférica no tiene mucha variación y se encuentra en un rango habitual al compararlo con la estación “Los Chillos” del INAMHI, por lo que no es necesario calibrar este sensor.

Según la hoja técnica del sensor BH1750FVI, y de diferentes hojas técnicas de LDR's, el rango de medida de este sensor está dentro del rango (luz solar directa del sol) por lo que no es necesario realizar su calibración.

5.4 Resultados

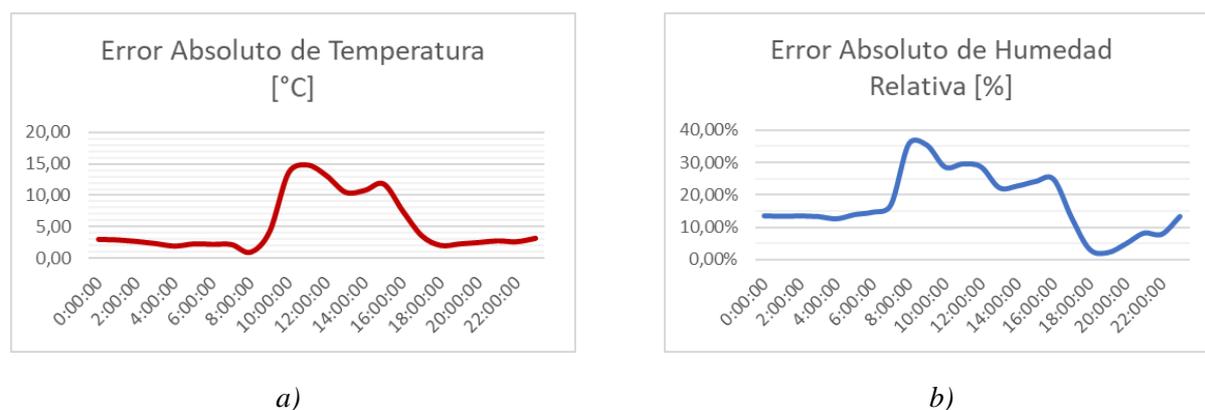


Figura 106. Errores Absolutos de las mediciones entre la MEM y la Secretaría de Ambiente DMQ: a) Temperatura, b) Humedad Relativa, c) Radiación UV

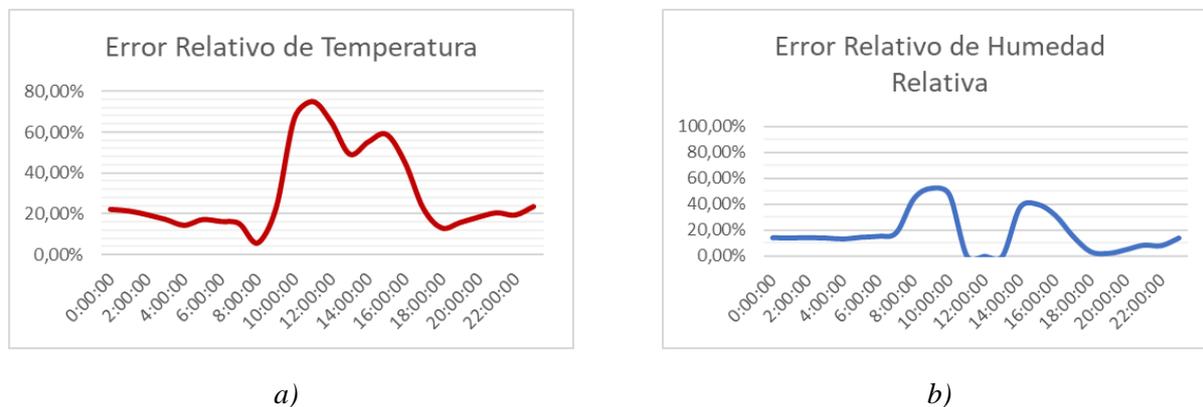


Figura 107. Errores Relativos de las mediciones entre la MEM y la Secretaría de Ambiente DMQ: a) Temperatura, b) Humedad Relativa, c) Radiación UV

Con los datos obtenidos en la sección 5.3 y en la sección 5.3.1, se obtienen los errores de la Figura 106 y los errores relativos de la Figura 107.

Lo que indica que, para estas variables, los sensores no se acercan a la realidad, ya sea por la ubicación de los sensores, interferencia de elementos o la instrumentación por defecto.

Sin embargo, al obtener y utilizar los parámetros de calibración se espera obtener los Errores de la Figura 108 y los errores relativos de la Figura 109, los cuales, en comparación a los errores anteriores, son menores y por lo tanto más confiables.

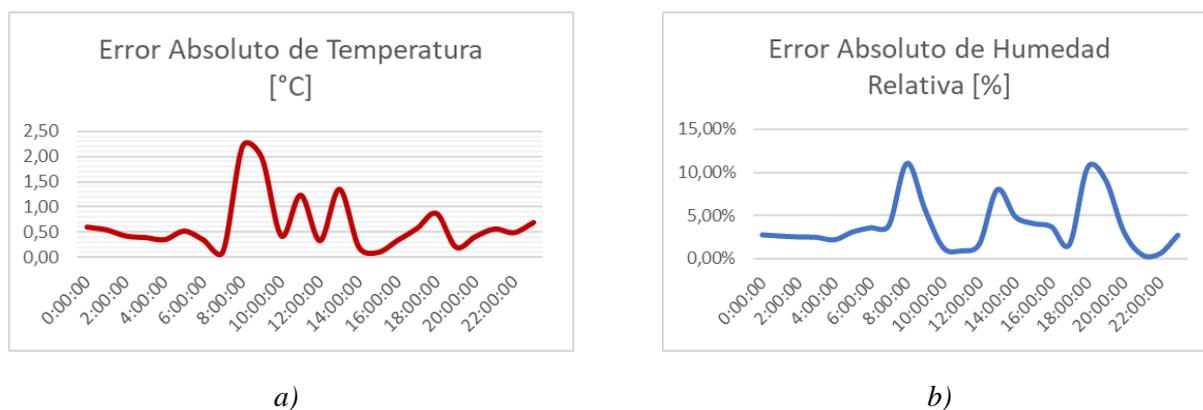


Figura 108. Errores Absolutos de las mediciones entre la MEM y la Secretaría de Ambiente DMQ después de la calibración: a) Temperatura, b) Humedad Relativa

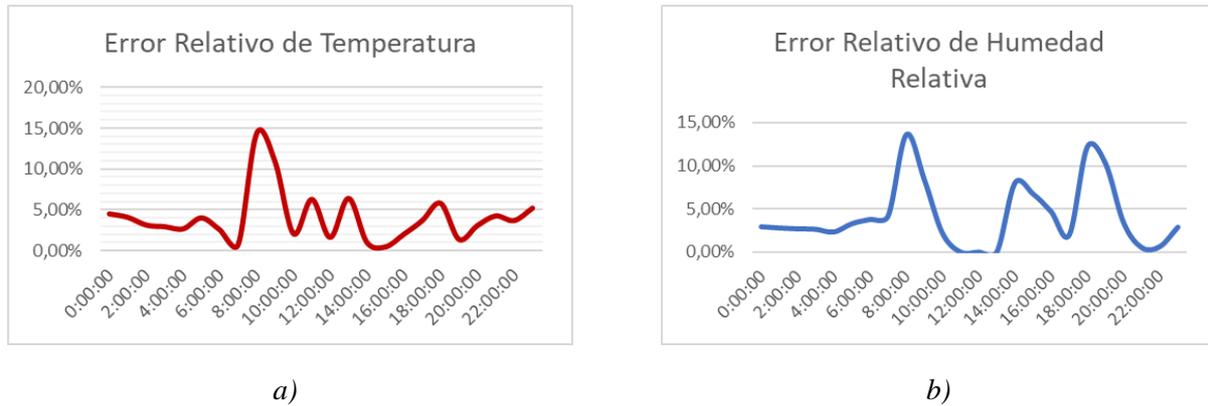


Figura 109. Errores Relativos de las mediciones entre la MEM y la Secretaría de Ambiente DMQ después de la calibración: a) Temperatura, b) Humedad Relativa

Con los sensores de la MEM trabajando adecuadamente con ayuda de la calibración, la MEM enviando estos datos por diferentes canales de información tanto a usuarios (mediante Internet) como a nodos centrales (EIM) mediante LoRa, y estas a su vez mostrando estos datos de una forma atractiva y localmente con ayuda de pantallas, API's y servicios Web.

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Tras realizar un mapa de sombras en un año completo se logra obtener los lugares estratégicos para colocar dispositivos con base en energía fotovoltaica; para el caso de la MEM son las terrazas de todos los edificios. Por otro lado, para las EIM además de las sombras se tomó en cuenta la afluencia de personas, que sugiere como áreas sugeridas son la entrada principal y el área entre el edificio central - edificio MED. Sin embargo, existen aún diversos lugares dentro del campus donde se pueden realizar aplicaciones para ciudades inteligentes y con la suficiente energía solar para ser autosustentable, como se observa en el análisis realizado en la sección 3.2 y en la sección 3.3.1.

Las tarjetas de desarrollo comparadas en la sección 3.4 deben ser considerados de acuerdo con la aplicación que se quiera desarrollar, en este caso por la cantidad de periféricos integrados, características de bajo consumo eléctrico y capacidad computacional TTGO LoRa32 V1 es la tarjeta de desarrollo con la que se concretó los sistemas tanto MEM como EIM.

Las estructuras están construidas en acero galvanizado, cuentan con un diseño donde el peso está distribuido en la parte baja, para hacer que el centro de masa este lo más cercano al suelo y brinde estabilidad. Las EIM cuenta con perforaciones en la base para empotrar los sistemas al piso y resistir esfuerzos mecánicos, mientras la MEM, la estructura se puede desplazar. Además, los sistemas electrónicos están debidamente protegidos contra polvo y lluvia mediante uso de cajas herméticas, tubo corrugado, y prensas estopa para cable ya que usarán en exteriores.

Empleando paneles fotovoltaicos poli cristalinos de 20W, controlador de carga PWM 12V/10A y baterías de tipo GEL de 12V/9Ah (1 para EIM y 2 en paralelo para MEM), el

sistema cumple sin problemas los días de autonomía, determinadas a través de los cálculos en la sección 4.6, es decir 14 horas por 4 días para cada EIM y 24 horas por 7 días para la MEM.

Las protecciones eléctricas para los sistemas fotovoltaicos de las EIM y MEM, se encuentran en el controlador de carga y soportan un máximo de 25V/10A. Además, existen protecciones en los convertidores DC-DC que alimentan a los circuitos electrónicos de las EIM y MEM estos soportan un máximo de 25V/4A.

Emplear un servidor embebido implica una reducción significativa en la gestión de la aplicación, dado que ESP32 se encarga de generar los servicios y el cliente con un terminal se encarga del esfuerzo computacional.

La comunicación a través de websockets, sumado al uso de doble núcleo permiten que el desempeño del ESP32 sea fluido y por tanto que la aplicación web entregue la información a los usuarios finales en tiempo real.

En el sistema de recolección y monitoreo de variables meteorológicas, la seguridad o cifrado de la información es “deseable” mas no imprescindible. Aun así, los sistemas tanto MEM como EIM cuentan con una validación por contraseña para configurarlos a través peticiones HTTP y gestionada en el ESP32 (no accesible) lo que brinda la seguridad ante un posible mal uso de los dispositivos.

La tendencia en todo sistema electrónico tanto doméstico como industrial es la conectividad y la disponibilidad multiplataforma por tanto se busca que toda aplicación electrónica tenga expansión al Internet, es por eso que el software desarrollado en este proyecto utiliza una aplicación web y no una aplicación móvil o de escritorio.

Para la red LPWAN se empleó LoRa en la banda de 915MHz por ser banda de uso libre en el Ecuador, para garantizar la cobertura de la señal en los puntos estudiados para la colocación de EIM y MEM se empleó un Spread Factor (SF) de 12. Con la utilización de LoRa

se reduce considerablemente el costo fijo asociado al mantenimiento mensual de una red de comunicaciones de larga distancia.

La implementación de animaciones que acompañan la información de las variables meteorológicas en el panel LED, hacen que la EIM se más llamativa para los transeúntes. El coste energético de esta implementación es de un máximo desde 0,74 W hasta 1,56 W dependiendo de la animación.

Los errores promedio bajos en las mediciones de temperatura y humedad, llegando incluso ser menor al 5% en relación a una estación meteorológica cercana, indican que la estación va a enviar mediciones confiables y las personas recibirán la información correcta mediante páginas Web, la base de datos en Internet o por pantallas de las EIM.

Tras analizar los datos la Radiación UV y del Índice UV, se eligieron datos significativos del INAMHI para compararlos con las mediciones de la Micro Estación Meteorológica y realizar la calibración del sensor de radiación UV. Esto debido a que la medición de estas variables cambia mucho dependiendo del lugar. Factores aleatorios como un obstáculo (nubes, polvo, aves, etc.) modifican el comportamiento del sensor de radiación dificultando una comparación objetiva.

6.2 Recomendaciones

Colocar un dispositivo con pantalla de resolución HD o superior, capacidad de conexión WiFi y con navegador web (e.g. Smart TV, Tablets, Single Board Computer + Monitor, etc.) en las cercanías de los nodos EIM, para visualización de la aplicación web, en tiempo real.

Utilizar el mapa de sombras de este documento en el caso de que se requiera reubicar los sistemas desarrollados en este proyecto u otros sistemas fotovoltaicos aislados.

Para el diseño y construcción de una estructura que permita la implementación de sistemas electrónicos, es recomendable contar con un equipo multidisciplinario para que se desarrolle en menor tiempo.

Para el mantenimiento del sistema fotovoltaico se debe desconectar en el orden siguiente: 1) Las cargas (tarjeta de desarrollo, sensores o pantalla LED), 2) Panel fotovoltaico y 3) Batería.

En el caso de que se presente algún problema con la instalación fotovoltaica se debe verificar el display en el controlador de carga, en el manual del ANEXO 5 se encuentra una sección para identificación de problemas.

Las baterías VRLA actuales solo pueden ser reemplazadas por baterías OPEN, AGM o GEL (VRLA) debido a que el controlador de carga es compatible solo con este tipo de baterías, caso contrario se deberá buscar otro tipo de controlador de carga.

Si se busca ampliar el número de variables captadas por la micro estación meteorológica, se debe tomar en cuenta el consumo energético y como afecta a la autonomía del sistema. Así mismo, la presentación de más información en el panel LED afecta la autonomía de las EIM.

La red a la que se va a conectar la MEM debe ser una red que garantice una velocidad constante de por lo menos 1Mbps de subida y bajada. Además, debe permitir el tráfico de paquetes UDP a través del puerto 123, para que los registros a Firebase se puedan ejecutar con éxito.

6.3 Trabajos futuros

Diseñar y evaluar controladores de carga basados en Seguidor de punto de máxima potencia (en inglés, MPPT), Fuzzy Logic, RNA para un mejor desempeño del sistema fotovoltaico.

Diseñar y evaluar distintas configuraciones de acumuladores de energía para el sistema fotovoltaico. Basados en circuitos Sistema de gestión de baterías (en inglés, BMS) y baterías LiFePO4, Li ion, Grafeno, etc.

Con los datos generados por la Micro Estación Meteorológica probar diferentes códigos de predicción climatológica en con base en inteligencia artificial.

Implementar animaciones de rasgos faciales en el panel LED RGB, además de un chatbot con Dialogflow a partir de los datos en Firebase, con el objetivo de construir un robot móvil como aplicación de robótica social para bienvenida, información y asistencia entre otras aplicaciones.

Implementar más funcionalidades en la aplicación Web como realidad aumentada a través de A-Frame.js

Portar la aplicación web a aplicaciones móviles híbridas a través de frameworks como Ionic 4 o React Native. Con el objetivo de distribuirlas a través de las tiendas de aplicaciones tanto en Android como iOS.

Desarrollar solmáforos o dispositivos similares con los datos compartidos en la red WLAN de las estaciones de información.

Utilizar el mapa de sombras para la implementación de nuevos dispositivos autosustentables con alimentación fotovoltaica teniendo en cuenta el movimiento de las sombras.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abella, M. (s.f.). *Energía Solar Fotovoltaica*. Madrid: Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas.
- Alavi, A., Jiao, P., Buttlar, W., & Lanjef, N. (2018). Internet of Things-enabled smart cities: State-of-the-art and future trends. *Journal of the International Measurement Confederation (IMEKO)*.
- Arduino. (26 de noviembre de 2019). *Arduino MKR WAN 1310*. Obtenido de Arduino Store: <https://store.arduino.cc/usa/mkr-wan-1310>
- Arduino. (26 de noviembre de 2019). *Arduino Nano 33 IoT*. Obtenido de Arduino Store: <https://store.arduino.cc/usa/nano-33-iot>
- Arias, K. (26 de Noviembre de 2019). *Desarrollo de un sistema para el monitoreo remoto de parámetros de un cuarto de refrigeración*. Obtenido de mindomo: <https://www.mindomo.com/es/mindmap/desarrollo-de-un-sistema-para-el-monitoreo-remoto-de-parametros-de-un-cuarto-de-refrigeracion-b5a13141c0f64303a39019d9c94ba5fb>
- Barberis, W. (2011). Ciudad Urbótica Contemporánea: Urbanística y Nuevas Tecnologías en el Espacio y los Servicios Urbanos. *Journal of the Centre of Land Policy and Valuations / Polytechnic University of Catalonia and of The Thematic Network Architecture, City and Environment*.
- Barberis, W. (2011). Ciudad Urbótica Contemporánea: Urbanística y Nuevas Tecnologías en el Espacio y los Servicios Urbanos . *ACE: Architecture, City and Environment = Arquitectura, Ciudad y Entorno*, 95-108.
- Barriga Rivera, A., Delgado Plaza, E., Guevara Sáenz de Viteri, J., Peralta Jaramillo, J., Naranjo Valencia, M., & Villalta Delgado, K. (2014). En ESPOL, *Introducción al Estudio de Fuentes Renovables de Energía* (págs. 24-25). Proyecto LATIn.

Barriga, A., Delgado, E., Guevara, J., Peralta, J., Naranjo, M., & Villalta, K. (2014).

Introducción al estudio de fuentes renovables de energía. Iniciativa Latinoamericana de Libros de Texto Abiertos (LATIn).

Bautista, R., Gosgot, W., Meza, G., Perez, J., Ramirez, I., & Santillan, H. (2016). *Estación*

Meteorológica. Chachapoyas: Universidad Nacional Toribio Rodriguez de Mendoza.

Bender, C. M., Deco, C., Sanabria, J. S., Hallo, M., & Gallegos, J. C. (2014). *Tópicos*

Avanzados de Bases de Datos. Quito.

Bender, C. M., Deco, C., Sanabria, J. S., Hallo, M., & Gallegos, J. C. (2014). *Tópicos*

Avanzados de Bases de Datos. Iniciativa Latinoamericana de Libros de Texto Abiertos (LATIn).

Beri, J. (26 de Noviembre de 2019). *Spark Core Pinout Diagram*. Obtenido de send104b:

<http://send104b.com/av/711p2j6/electronics-for-opera/4k6h21/>

Bobadilla, J., & Sancho, A. (2003). *Comunicaciones y bases de datos con JAVA a través de*

ejemplos. Madrid: RA-MA S.A.

BOSCH Sensortech. (19 de Diciembre de 2019). Obtenido de BOSCH Sensortech:

https://www.bosch-sensortec.com/media/boschsensortec/downloads/environmental_sensors_2/humidity_sensors_1/bme280/bst-bme280-ds002.pdf

Burguess, P. (2019). *32x16 and 32x32 RGB LED Matrix*. Nueva York: Adafruit Industries.

Calderón Castro, A. X. (2016). *Análisis de estándares usados en urbotica, para propuesta de*

diseño de una ciudad inteligente. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

Casanova, M. (2018). *Sistemas de cosecha de energía para sistemas electrónicos autónomos*.

Madrid: Universidad Rey Juan Carlos.

- CC-ONLINEHELP. (02 de Diciembre de 2011). *What's new in version 2.4.3*. Obtenido de CC-ONLINEHELP: https://www.cc-onlinehelp.com/en/media/ntp-server-client-schema_original.jpg
- Ceja, J., Renteira, R., Ruelas, R., & Ochoa, G. (2017). Módulo ESP8266 y sus aplicaciones en el internet de las cosas. *Revista de Ingeniería Eléctrica*, 24-36.
- Comité Ejecutivo de la NEC. (2011). *Norma Ecuatoriana de Construcción NEC-11*. Quito: Convenio MIDUVI - Cámara de la Construcción de Quito.
- Corporación para la Investigación Energética. (2008). *Atlas Solar del Ecuador con Fines de Generación Eléctrica*. Quito: Corporación para la Investigación Energética.
- Cortés, M. (2017). *Participación Ciudadana y Ciudades Inteligentes*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- CSIC. (27 de agosto de 2010). *Recomendaciones básicas sobre iluminación*. Obtenido de Consejo Superior de Investigaciones Científicas: <https://www.icv.csic.es/prevencion/Documentos/breves/FREMAP/iluminacion.pdf>
- Dalal, U., Shah, S., & Patel, J. (2018). MAC and Network Layers Issues and Challenges for IoT. En S. S. Upena Dalal, *The Internet of Things Foundation for Smart Cities, eHealth, and Ubiquitous Computing* (págs. 64-66). Florida: Taylor & Francis Group.
- Díaz, T., & Carmona, G. (2010). Configuración de instalaciones solares fotovoltaicas autónomas. En T. Díaz, & G. Carmona, *Instalaciones Solares Fotovoltaicas*. Madrid: McGrawHill.
- Díaz, T., & Carmona, G. (2010). Diseño de instalaciones solares fotovoltaicas sin conexión a red. En T. Díaz, & G. Carmona, *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Madrid: McGrawHill.
- Díaz, T., & Carmona, G. (2017). Componentes de una instalación solar fotovoltaica. En T. Díaz, & G. Carmona, *Instalaciones solares fotovoltaicas* (págs. 7-28). Mc Graw Hill.

- Diferenciador. (26 de noviembre de 2019). *Solsticio y equinoccio*. Obtenido de diferenciador.com: <https://www.diferenciador.com/solsticio-y-equinoccio/>
- ESPAE - ESPOL. (2018). *Global Entrepreneurship Monitor - GEM, Ecuador 2017*. Guayaquil: ESPAE - ESPOL .
- Espressif Systems. (2018). *ESP32-WROOM-32 (ESP-WROOM-32)*. Shanghai: Espressif Inc.
- Espressif Systems. (11 de Diciembre de 2019). *ESP32*. Obtenido de <http://esp32.net/#Features>
- Espressif Systems. (18 de septiembre de 2019). *Espressif*. Obtenido de [espressif.com](https://www.espressif.com/en): <https://www.espressif.com/en>
- FG-SSC. (Octubre de 2015). *Smart Sustainable Cities*. Obtenido de UIT: Comprometida por conectar al mundo.: <https://www.itu.int/es/ITU-T/focusgroups/ssc/Pages/default.aspx>
- Gauchat, J. D. (2012). *El gran libro de HTML5, CSS3 y Javascript*. Barcelona: MARCOMBO, S.A.
- Gerber, A. (3 de Enero de 2018). *Connecting all the things in the Internet of Things*. Obtenido de IBM: <https://developer.ibm.com/articles/iot-lp101-connectivity-network-protocols/>
- Giffinger, R., Fertner, C., Kramar, H., Kalasek, R., Pichler-Milanovic, N., & Meijers, E. (2007). *Smart Cities - Ranking of European medium-sized cities*. Vienna: Vienna University of Technology.
- Google Trends. (16 de septiembre de 2019). *Cómo se ajustan los datos de Trends*. Obtenido de https://support.google.com/trends/answer/4365533?hl=es&ref_topic=6248052
- Google Trends. (16 de Septiembre de 2019). *Google Trends*. Obtenido de <https://trends.google.com/trends/explore?geo=EC&q=%2Fm%2F02vnd10>

Guambi, J. (Marzo de 2014). *Modelos*. Obtenido de 3D Warehouse:

<https://3dwarehouse.sketchup.com/user/1482638572020774388553647/H-Jonathan-Guambi?tab=models>

Henschke, M. (2017). *Arduino MKR WiFi 1010 PinOut Diagramm*. Obtenido de henschke-

geraetebau.de: <https://www.henschke-geraetebau.de/dr/Zeitwaage.html>

INAMHI. (junio de 2017). *Anuario meteorológico*. Obtenido de Instituto Nacional de

Meteorología e Hidrología:

http://www.serviciometeorologico.gob.ec/docum_institucion/anuarios/meteorologicos/Am_2013.pdf

INAMHI. (12 de septiembre de 2019). *Red de estaciones automáticas*. Obtenido de Instituto

Nacional de Meteorología e Hidrología: <http://186.42.174.236/InamhiEmas/>

INAMHI. (13 de septiembre de 2019). *Valores / Misión / Visión*. Obtenido de Instituto

Nacional de Meteorología e Hidrología:

<http://www.serviciometeorologico.gob.ec/valores-mision-vision/>

INAMHI. (01 de agosto de 2019). *Visualizador de datos de Índice UV*. Obtenido de Instituto

Nacional de Meteorología e Hidrología: <http://186.42.174.236/IndiceUV2/>

INOCAR. (06 de diciembre de 2012). *Información General de la República del Ecuador*.

Obtenido de Instituto Oceanográfico de la Armada:

https://www.inocar.mil.ec/docs/derrotero/derrotero_cap_I.pdf

INOCAR. (13 de septiembre de 2019). *Funciones y objetivos* . Obtenido de Instituto

Oceanográfico de la Armada:

<https://www.inocar.mil.ec/web/index.php/institucion/funciones-y-objetivos>

Kolban, N. (2018). *Kolban's*. Texas, USA: Neil Kolban.

LAPIS semiconductor. (2013). *ML8511: UV sensor with voltage output*. Yokohama: LAPIS semiconductor.

- Lea, P. (2018). History of the IoT. En P. Lea, *Internet of Things for Architects* (págs. 11-12). Birmingham - Mumbai: Packt Publishing.
- Lea, P. (2018). LoRa and LoRaWAN. En P. Lea, *Internet of Things for Architects* (págs. 263-268). Birmingham-Mumbai: Packt Publishing.
- Lea, P. (2018). Transparent and aggregating gateways. En P. Lea, *Internet of Things for Architects* Packt Publishing (pág. 319). Birmingham-Mumbai: Packt Publishing.
- Llamas, L. (01 de Junio de 2018). *Pinout del NodeMCU*. Obtenido de NodeMCU, la popular placa de desarrollo con ESP8266: <https://www.luisllamas.es/esp8266-nodemcu/>
- LoRa Alliance. (2017). *LoRa Alliance*. Recuperado el Septiembre de 2019, de LoRaWANTM 1.1 Regional Parameters: https://lora-alliance.org/sites/default/files/2018-04/lorawantm_regional_parameters_v1.1rb_-_final.pdf
- LoRaWAN. (13 de Septiembre de 2019). *LoRaWAN*. Obtenido de lorawan.es: lorawan.es
- Loureiro, R. (2015). *Estudio Plataformas IoT*. Barcelona: Universidad Abierta de Cataluña.
- Mccreary, D., & Kelly, A. (2014). *Making Sense of NoSQL, A Guide for Managers and The Rest of Us*. Manning Publications Co.
- MTC. (2015). Recuperado el Septiembre de 2019, de Ministerio de Transporte y Comunicaciones de Perú: https://portal.mtc.gob.pe/comunicaciones/regulacion_internacional/publicaciones/Publicaciones/Marco%20Institucional.pdf
- NXP Semiconductors. (4 de Abril de 2014). *NXP Semiconductors*. Obtenido de I2C-bus specification and user manual Rev. 6: <https://www.nxp.com/docs/en/user-guide/UM10204.pdf>
- OMS. (28 de Julio de 2019). *Sun protection*. Obtenido de World Health Organization: https://www.who.int/uv/sun_protection/en/

- OMS. (28 de Julio de 2019). *Ultraviolet radiation and health*. Obtenido de World Health Organization: https://www.who.int/uv/uv_and_health/en/
- Palaguachi, S. (2018). *Diseño, desarrollo e implementación de una estación meteorológica basada en una red jerárquica de sensores, software libre y sistemas embebidos para la empresa Elecaustro en la minicentral Gualaceo utilizando comunicación MQTT y MODBUS*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
- Paz y Miño, C., & López, A. (2014). *Genética Molecular y Citogenética Humana: Fundamento, aplicaciones e Investigaciones en el Ecuador*. Quito: Universidad de las Américas. Universidad Yachay.
- Pérez, D. (s.f.). Medida de la radiación solar. En D. Pérez, *Procedimiento de Mantenimiento y Calibración de Estación Radiométrica* (págs. 13-42). Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Pérez, M. (2014). *Diseño de un radiómetro ultravioleta, para su aplicación en modelos de radiación UV*. México, D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Raj, P., & Raman, A. C. (2017). En *The Internet of Things Enabling Technologies, Platforms, and Use Cases* (págs. 62-65). Florida: Taylor & Francis Group, LLC.
- Raj, P., & Raman, A. C. (2017). *The Internet of Things Enabling Technologies, Platforms, and Use Cases*. Florida: Taylor & Francis Group.
- Raj, P., & Raman, A. C. (2017). *The Internet of Things Enabling Technologies, Platforms, and Use Cases*. Florida: Taylor & Francis Group.
- Ricardo, C. (2004). *Bases de datos*. México, D. F.: MCGRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES, S.A. de C.V.
- Robles, V. (Dirección). (2017). *NoSQL vs SQL - Diferencia entre MongoDB y MySQL - Bases de datos no relacionales - Víctor Robles* [Película].

- Rodríguez, M. (2018). *Diseño de un sensor de temperatura IoT para la red LoRa*. Valladolid: Vilnius Gediminas Technikos Universitetas.
- Rodríguez, R., Benito, Á., & Portela, A. (2004). *Meteorología y Climatología*. Obtenido de Ministerio de educación y ciencia (España): <https://cab.inta-csic.es/uploads/culturacientifica/adjuntos/20130121115236.pdf>
- ROHM Semiconductor. (19 de Diciembre de 2019). *Ambient Light Sensor IC Series*. Obtenido de Digital 16bit Serial Output Type Ambient Light Sensor IC: <https://www.mouser.com/datasheet/2/348/bh1750fvi-e-186247.pdf>
- Roithner LaserTechnick. (2011). *GUVA-S12SD: technical data*. Vienna: Roithner LaserTechnick.
- Romeo, M., & Martínez, E. (21 de septiembre de 2010). *Microcontroladores de 32 bits ARM. Parte 1*. Buenos Aires: Universidad de Belgrano. Obtenido de Edudevices: http://www.edudevices.com.ar/download/articulos/comentarios/Microcontroladores_de_32_bits_ARM.pdf
- Sanjuán, E. (30 de enero de 2014). *Conceptos básicos de luminotecnía*. Obtenido de Fundación para la eficiencia energética: http://www.f2e.es/uploads/doc/20140130095253.aido_cefilum_2014_f2e.pdf
- Secretaría de Ambiente del Municipio del Distrito Metropolitano Quito. (29 de Febrero de 2016). *Tres nuevos solmáforos se instalaron en Quito*. Obtenido de Noticias: <http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/index.php/noticias/210-tres-nuevos-solmaforos-se-instalaron-en-quito>
- Secretaría de Ambiente del Municipio del Distrito Metropolitano Quito. (12 de septiembre de 2019). *Datos Horarios Historicos Red Monitoreo Aire*. Obtenido de Presión Barométrica (PRE): <http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/index.php/datos-horarios-historicos#presi%C3%B3n-barom%C3%A9trica-pre>

Secretaría de Ambiente Quito. (13 de septiembre de 2019). *Red de Monitoreo Atmosférico*.

Obtenido de Secretaría de Ambiente Quito:

<http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/index.php/politicas-y-planeacion-ambiental/red-de-monitoreo>

Sociedad de Lucha Contra el Cáncer. (2014). *Epidemiología del Cáncer en Quito 2006-2010*.

Quito: SOLCA Núcleo de Quito.

Sparkfun. (5 de Enero de 2015). *Exploring the Protocols of IoT*. Obtenido de Sparkfun:

<https://www.sparkfun.com/news/1705>

Spiess, A. (03 de Febrero de 2018). Obtenido de #182 ESP32 Lora Boards: What you need to

know before you buy (incl. Antenna knowledge): https://youtu.be/CJNq2I_PDHQ

Tanenbaum, A. S., & Wetherall, D. J. (2012). *Redes de computadoras*. México: Pearson

Educación de México, S.A.

Tanenbaum, A. S., & Wetherall, D. J. (2012). *Redes de computadoras*. México: Pearson

Educación de México, S.A.

Tanenbaum, A., & Wetherall, D. (2012). En *Redes de computadoras, 5a*. Naucalpan de

Juárez, México : Pearson Educación de México.

Tapia Jiménez, F., & Romero López, J. (2012). Sincronización de la hora oficial con servidor

NTP cronos del CENAM. *División de Tiempo y Frecuencia, Centro Nacional de Metrología, CENAM*.

Thakur, M. (31 de Diciembre de 2018). *ESP32 DevKit ESP32-WROOM GPIO Pinout*.

Obtenido de circuits4you.com: <https://circuits4you.com/2018/12/31/esp32-devkit-esp32-wroom-gpio-pinout/>

Tosini, M., Marone, J., & Goñi, E. (3 de octubre de 2012). *Arquitectura y Organización de*

un microcontrolador genérico. Buenos Aires: Universidad Nacional del Centro de la

Provincia de Buenos Aires. Obtenido de Universidad Nacional del Centro de la

Provincia de Buenos Aires:

http://www.exa.unicen.edu.ar/catedras/tmicrocon/Material/1_introduccion_a_los_ucontroladores.pdf

Turón, C., & Gomis, J. (2017). *Implantación de elementos de sostenibilidad aplicados a la modernización de áreas productivas: España, un caso deficitario en la Europa del sur*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.

Unión Internacional de Telecomunicaciones . (2012). Recomendación UIT-T Y.2060. En *Descripción general de Internet de los objetos*, (pág. 7). UIT-T.

Wittern, E. (2018). Web APIs - Challenges, Design Points, and Research Opportunities. *ACM/IEEE 2nd International Workshop on API Usage and Evolution*.

World Meteorological Organization. (2019). *WMO Statement on the State of the Global Climate in 2018*. Geneva 2, Switzerland: Chairperson.

World Meteorological Organization. (2016). Measurement of atmospheric pressure. En *WMO, Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation* (págs. 65-89). Ginebra.

World Meteorological Organization. (2016). Measurement of humidity. En *WMO, Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation* (págs. 91-119). Ginebra.

World Meteorological Organization. (2016). Measurement of radiation. En *WMO, Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation* (págs. 157-195). Ginebra.

World Meteorological Organization. (2016). Measurement of temperature. En *WMO, Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation* (págs. 43-61). Ginebra.

World Meteorological Organization. (2016). Measurement of visibility. En *WMO, Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation* (págs. 211-224). Ginebra.

Yeager, D., & Lim, H. (Abril de 2019). What's New in Photoprotection. *Dermatologic Clinics*, págs. 149-157.

ANEXOS