



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

**“TÓTEM MEDIDOR DE CONDICIONES AMBIENTALES PARA
ESPACIOS PÚBLICOS”**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO EN MECATRÓNICA**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Innovación y transferencia tecnológica/Automatización

AUTOR:

David Israel Villarreal Chuquín

DIRECTOR:

Carlos Xavier Rosero Chandi, PhD

Ibarra – Ecuador 2025



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100446697-3		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Villarreal Chuquín David Israel		
DIRECCIÓN:	Imbabura, Ibarra		
EMAIL:	divillarrealc@utn.edu.ec davidvillareal.456@gmail.com		
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MÓVIL:	0969214173

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	TÓTEM MEDIDOR DE CONDICIONES AMBIENTALES PARA ESPACIOS PÚBLICOS
AUTOR:	Villarreal Chuquín David Israel
FECHA:	07/07/2025
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	☒ PREGRADO ☐ POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Mecatrónica
ASESOR /DIRECTOR:	MSc. Juan Carlos Paz Espinoza /Carlos Xavier Rosero Chandi, PhD

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 07 días del mes de julio de 2025.

EL AUTOR:

(Firma).....

Nombre: David Israel Villarreal Chuquín



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE
INTEGRACIÓN CURRICULAR

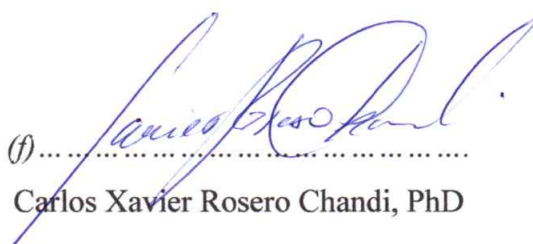
Ibarra, 07 de julio de 2025

Carlos Xavier Rosero Chandi, PhD

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

(f) 

Carlos Xavier Rosero Chandi, PhD

C.C.: 1002515821



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificado del trabajo de Integración Curricular “TÓTEM MEDIDOR DE CONDICIONES AMBIENTALES PARA ESPACIOS PÚBLICOS” elaborado por DAVID ISRAEL VILLARREAL CHUQUÍN, previo a la obtención del título de INGENIERO EN MECATRÓNICA, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:

(f)
Carlos Xavier Rosero Chandi, PhD
C.C.: 1002515821

(f)
MSc. Juan Carlos Paz Espinoza
C.C.: 1002834800

DEDICATORIA

Con profunda gratitud, dedico este trabajo primeramente a Dios, quien ha sido mi soporte en cada etapa de este trayecto. En medio de las dificultades, su presencia ha sido mi ancla, mi paz y mi guía constante. En los momentos de incertidumbre y agotamiento, Él ha renovado mis fuerzas. Nada de lo alcanzado hubiera sido posible sin su fidelidad.

A mis padres, Héctor Villarreal y Fanny Chuquín, les debo mucho más que solo palabras escritas. Gracias por su gran amor incondicional, a través de su trabajo, integridad y perseverancia han formado en mí el carácter que me ayuda a sobrellevar las diversas dificultades de la vida actualmente. Todo su sacrificio y apoyo ha allanado mi camino para que pueda recorrerlo de forma más fácil. Esta meta también es suya.

A mi hermano, Josué Villarreal, y a mis amigos Joffre Túquerres, Marlon Negrete y Edgar Villa les agradezco toda su compañía en cada una de las etapas académicas que transcurrimos juntos. Sus risas y ánimos trajeron alegría en medio de tantos días de arduo trabajo.

En aquellas noches, cuando el cansancio parecía imponerse, su respaldo, ayuda y apoyo fueron el aliento que me impulsó a continuar y no rendirme. A ellos, a Dios, y a quienes creyeron en mí, entrego con humildad este logro.

David Israel Villarreal Chuquín

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, expreso mi más sincero agradecimiento al PhD. Xavier Rosero, por su valiosa guía, compromiso y dedicación durante mi formación académica y, especialmente, en el desarrollo del presente trabajo de titulación. Su conocimiento, sus observaciones precisas y sus correcciones oportunas fueron fundamentales para alcanzar este objetivo.

De igual manera, agradezco al MSc. Juan Carlos Paz, por su constante disposición a ayudarme y guiarme. Su paciencia y apoyo fueron importantes en cada etapa de este proceso.

Finalmente, extiendo mi agradecimiento al Ing. Andrés Chaglla y al equipo de Maquineq, con quienes tuve la oportunidad de trabajar de manera conjunta para desarrollar el presente trabajo. Sus conocimientos técnicos y formación profesional fueron fundamentales para obtener resultados de calidad.

David Israel Villarreal Chuquín

RESUMEN

Las condiciones ambientales no siempre son seguras para la población, especialmente para personas con enfermedades crónicas, niños y adultos mayores. La mayoría de las plataformas digitales disponibles ofrecen únicamente datos generales y predictivos que no reflejan con precisión la realidad específica de determinados espacios públicos. Frente a esta limitación, se desarrolla el diseño y construcción de un Tótem Medidor de Condiciones Ambientales, con el objetivo de proporcionar información hiperlocal, precisa y accesible en tiempo real. El sistema está conformado por una estructura metálica tipo tótem y una envolvente mecanizada con grado de protección IP65, que permiten su operación en exteriores. Su funcionamiento es autónomo, ya que se alimenta a través de un panel solar que carga una batería interna recargable. La transmisión de datos se realiza mediante conexión Wi-Fi. El dispositivo mide temperatura atmosférica, humedad relativa, índice de la radiación ultravioleta, calidad del aire (a partir de las concentraciones de PM10 y PM2,5) e índice de calor. Los datos se visualizan a través de una interfaz gráfica interactiva en la pantalla del tótem y se almacenan en Firestore, desde donde una aplicación web progresiva obtiene los datos para mostrarlos en conjunto con varias recomendaciones en su interfaz. Las pruebas de funcionamiento demuestran un funcionamiento estable y eficiente, con baja latencia en la comunicación y con niveles adecuados de exactitud y precisión, principalmente en las mediciones de temperatura y humedad. El sistema representa una herramienta útil para brindar información ambiental inmediata e hiperlocal en espacios públicos.

Palabras clave: hiperlocal, radiación ultravioleta, calidad del aire, temperatura, aplicación web progresiva.

ABSTRACT

Environmental conditions are not always safe for the population, especially for people with chronic illnesses, children, and the elderly. Most available digital platforms only offer general and predictive data that do not accurately reflect the specific reality of certain public spaces. In response to this limitation, the design and construction of a Totem for Measuring Environmental Conditions was developed, with the objective of providing hyperlocal, accurate, and accessible information in real time. The system is made up of a metallic totem-type structure and a machined enclosure with an IP65 protection rating, which allow it to operate outdoors. Its operation is autonomous, as it is powered by a solar panel that charges an internal rechargeable battery. Data transmission is carried out through a Wi-Fi connection. The device measures atmospheric temperature, relative humidity, ultraviolet radiation index, air quality (based on PM10 and PM2,5 concentrations), and heat index. The data are displayed through an interactive graphical interface on the totem's screen and are stored in Firestore, from where a progressive web application retrieves the information to display it along with various recommendations in its interface. Functionality tests demonstrate stable and efficient operation, with low communication latency and adequate levels of accuracy and precision, mainly in the measurement of temperature and humidity. The system represents a useful tool for delivering immediate and hyperlocal environmental information in public spaces.

Keywords: hyperlocal, ultraviolet radiation, air quality, temperature, progressive web application.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA	II
CONSTANCIAS	II
CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN	
CURRICULAR	III
APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR	IV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO	VI
RESUMEN	VII
ABSTRACT	VIII
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	XIV
ÍNDICE DE TABLAS.....	XXI
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.2. Objetivos	2
1.2.1. General	2
1.2.2. Específicos	3
1.3. Alcance y delimitación	3
1.4. Justificación	3
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Antecedentes	5

2.2.	Medidores de variables ambientales	9
2.3.	Bases teóricas.....	12
2.3.1.	Índice de la radiación ultravioleta	12
2.3.2.	Sensores de luz ultravioleta.....	13
2.3.2.1.	GY-ML8511	13
2.3.2.2.	VEML6070.....	14
2.3.2.3.	SI1145.....	14
2.3.3.	Índice de la calidad del aire.....	14
2.3.4.	Sensores de calidad del aire	17
2.3.4.1.	GP2Y1010AU0F	17
2.3.4.2.	MQ-7	18
2.3.4.3.	MQ-135	18
2.3.4.4.	PM SDS011	18
2.3.5.	Sensores de temperatura y humedad relativa DHT11 y DHT22.....	19
2.3.6.	Protocolos de comunicación de acceso a la red	20
2.3.6.1.	ZigBee	20
2.3.6.2.	Bluetooth	20
2.3.6.3.	Wi-Fi.....	21
2.4.	Análisis	21
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO		23
3.1.	Enfoque y tipos de investigación	23
3.2.	Diseño de la investigación	23

3.2.1.	Fase 1: Análisis de las opciones de medidores de variables ambientales existentes y las variables que manejan	24
3.2.2.	Fase 2: Diseño del prototipo	24
3.2.3.	Fase 3: Implementación del tótem medidor de variables ambientales y ejecución de pruebas de funcionamiento	25
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS		27
4.1.	Especificaciones del sistema.....	27
4.2.	Solución propuesta.....	28
4.2.1.	Potencia	28
4.2.1.1.	Cálculos	32
4.2.2.	Medición	34
4.2.3.	Interacción.....	36
4.2.4.	Control.....	36
4.2.5.	Circuito de control.....	38
4.2.5.1.	Placa de circuito impreso.....	40
4.2.6.	Circuito completo.....	43
4.3.	Programación	45
4.3.1.	Interfaz gráfica desarrollada en Python.....	45
4.3.2.	Aplicación Web Progresiva (PWA)	49
4.4.	Estructura mecánica	51
4.5.	Descripción del sistema mecánico	57
4.5.1.	Ensamble general tótem medidor de condiciones ambientales.....	57

4.5.2.	Subensamble conjunto envolvente	66
4.5.3.	Subensamble cubierta de protección del sensor UV	72
4.6.	Construcción	73
4.7.	Ensamble.....	79
4.8.	Análisis de costos.....	85
4.9.	Manual de usuario.....	87
4.10.	Pruebas de funcionamiento	87
4.10.1.	Prueba de comunicación	87
4.10.1.1.	Resultados.....	88
4.10.2.	Prueba de medición	90
4.10.2.1.	Resultados de temperatura.....	93
4.10.2.2.	Resultados de humedad	95
4.10.2.3.	Resultados de calidad del aire (PM2,5 y PM10)	97
4.10.2.4.	Resultados de índice de radiación UV.....	99
4.10.3.	Prueba de potencia	100
4.10.3.1.	Resultados del proceso de carga.....	101
4.10.3.2.	Resultados del proceso de descarga.....	102
4.10.3.3.	Resultados del proceso de carga-descarga.....	103
CONCLUSIONES.....		106
RECOMENDACIONES		108
TRABAJO FUTURO.....		109
REFERENCIAS		110

ANEXOS.....	121
Anexo A.....	121
Anexo B.....	132

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1 Estación AQ EAGLE	10
Fig. 2.2 Estación WxPRO	10
Fig. 2.3 Estación FST100-QXZ-01	11
Fig. 2.4 Estación RK900-01	11
Fig. 2.5 Categorías de exposición a la radiación UV	13
Fig. 2.6 Sistema de protección solar recomendado	13
Fig. 2.7 Módulo sensor de luz ultravioleta ML8511	13
Fig. 2.8 Sensor VEML6070	14
Fig. 2.9 Sensor SI1145	14
Fig. 2.10 Sensor GP2Y10AU0F	17
Fig. 2.11 Sensor MQ-7	18
Fig. 2.12 Sensor MQ-135	18
Fig. 2.13 Sensor MQ-135	19
Fig. 2.14 Sensores de temperatura y humedad relativa: a) DHT11; b) DHT22	19
Fig. 2.15 Domótica con ZigBee.	20
Fig. 4.1 Diagrama de bloques de la solución propuesta.	28
Fig. 4.2 Circuito de potencia.	29
Fig. 4.3 Panel solar de 18 V y 20 W.	29
Fig. 4.4 Especificaciones técnicas del panel.	30
Fig. 4.5 Controlador de carga solar YJSS/20A	30
Fig. 4.6 Regulador de voltaje XL4015E1.	31

Fig. 4.7 Interruptor de bloqueo de llave redonda del fabricante Jameco ValuePro	31
Fig. 4.8 Batería de 12 V y 5 Ah recargable VRLA con disipadores.	32
Fig. 4.9 Módulo de sensor DHT22.....	35
Fig. 4.10 Sensor GY- ML8511 adquirido.	35
Fig. 4.11 Pantalla 10,1" TFT 1280*800 LCD HDMI	36
Fig. 4.12 Raspberry Pi 3B	37
Fig. 4.13 Circuito de control.	38
Fig. 4.14 Conexiones con Raspberry Pi.	39
Fig. 4.15 Pistas de la capa inferior de la PCB.	41
Fig. 4.16 Esquema eléctrico de la PCB.	41
Fig. 4.17 Vista superior 3D del diseño de la PCB.....	42
Fig. 4.18 Vista inferior 3D del diseño de la PCB.....	42
Fig. 4.19 PCB fabricada. a) Capa superior, b) Capa inferior	42
Fig. 4.20 Circuito del sistema.....	43
Fig. 4.21 Circuito del sistema con protoboard.	44
Fig. 4.22 Conexiones de la protoboard.	44
Fig. 4.23 Diagrama de flujo del programa principal.	46
Fig. 4.24 Diagrama de flujo del hilo de lectura secundario (lecturaSensores()).	47
Fig. 4.25 Bloques de la interfaz gráfica del tótem.....	47
Fig. 4.26 Colores para los rangos de temperatura.	48
Fig. 4.27 Términos y colores usados para el índice de calor.....	49
Fig. 4.28 Diagrama de flujo de la PWA.	50

Fig. 4.29 Vistas isométricas de la propuesta de solución. a) Vista isométrica anterior, b) Vista isométrica posterior.....	51
Fig. 4.30 Vista explosionada del ensamble general tótem medidor de condiciones ambientales.	52
Fig. 4.31 Vista explosionada del subensamble conjunto envolvente.....	54
Fig. 4.32 Vista explosionada del subensamble cubierta de protección del sensor UV. ...	55
Fig. 4.33 Interfaz de pantalla del tótem.....	56
Fig. 4.34 Diseño de cubierta de protección del sensor UV.	57
Fig. 4.35 Tornillo autoperforante M3 x 12 mm tipo estrella.....	58
Fig. 4.36 Vistas isométricas del “Conjunto envolvente”. a) Vista isométrica anterior, b) Vista isométrica posterior.....	58
Fig. 4.37 Empaque N65.....	59
Fig. 4.38 Diseño de “Plancha trasera”.....	59
Fig. 4.39 Diseño de “Macetero Trasero”.....	60
Fig. 4.40 Perno cabeza de botón.....	60
Fig. 4.41 Tuerca autoblocante	60
Fig. 4.42 Rejilla de ventilación grande	61
Fig. 4.43 Malla mosquitera grande pegada a la rejilla de ventilación grande.	61
Fig. 4.44 Subensamble “Estructura” realizado con soldadura. a) Vista isométrica b) Vista opuesta.	62
Fig. 4.45 Perno expansivo de 3/8” x 2”.....	62
Fig. 4.46 Diseño de tapa 2 de macetero.	63

Fig. 4.47 Diseño de tapa 1 de macetero.	63
Fig. 4.48 Jaladera tubular niquelada.....	63
Fig. 4.49 Esquina de soporte.	64
Fig. 4.50 Placa informativa con esquinas de soporte y pegatina.....	64
Fig. 4.51 Diseño de cubierta solar para pantalla.	64
Fig. 4.52 Rejilla de ventilación pequeña.	65
Fig. 4.53 Malla fina de plástico.....	65
Fig. 4.54 Rejilla para codo	65
Fig. 4.55 Remaches M5.....	66
Fig. 4.56 Codo modificado 2.....	66
Fig. 4.57 Codo modificado 1.....	66
Fig. 4.58 Tuerca M4 hexagonal.....	67
Fig. 4.59 Perno M4 x 10 mm tipo estrella.....	67
Fig. 4.60 Diseño de plancha de soporte interno 2.	67
Fig. 4.61 Abrazaderas para esquinas de 2".	68
Fig. 4.62 Tapa protectora para Raspberry Pi mecanizada.	68
Fig. 4.63 Módulo Relé de 5 V y 1 canal con optoacoplador.....	69
Fig. 4.64 Raspberry Pi instalada en el estuche.....	69
Fig. 4.65 Diseño de plancha de soporte interna 1.	70
Fig. 4.66 Envolvente maquinada. a) Vista 1, b) Vista 2.....	70
Fig. 4.67 Diseño de plancha de soporte de pantalla.	71
Fig. 4.68 Ángulo de 16 mm instalado en envolvente.....	71

Fig. 4.69 Tapón	71
Fig. 4.70 Pared lateral cubierta sensor UV.....	72
Fig. 4.71 Tapa cubierta sensor UV.....	72
Fig. 4.72 Pared trasera cubierta sensor UV.....	72
Fig. 4.73 Vista isométrica de la carcasa de protección.	73
Fig. 4.74 Pared frontal cubierta sensor UV.....	73
Fig. 4.75 Cubierta de acrílico transparente.....	73
Fig. 4.76 Láminas de tol cortadas.	74
Fig. 4.77 Operación de doblado.	74
Fig. 4.78 Cubierta principal.....	75
Fig. 4.79 Cubierta macetero doblado.	75
Fig. 4.80 Perfil tipo U.....	75
Fig. 4.81 Proceso de soldadura de subensamble “Estructura”.	76
Fig. 4.82 Construcción del subensamble “estructura”. a) Vista trasera, b) Verificación de dimensiones.	76
Fig. 4.83 Proceso de soldadura de “macetero trasero”.....	76
Fig. 4.84 Subensambles “estructura” y “macetero trasero”.	77
Fig. 4.85 Mecanizado de la envolvente.....	77
Fig. 4.86 Tótem pintado.	78
Fig. 4.87 Plancha trasera con empaques.....	78
Fig. 4.88 Estructura del tótem.	79
Fig. 4.89 Envolvente con piezas de acrílico instaladas	80

Fig. 4.90 Pantalla instalada en envolverte.	80
Fig. 4.91 Envolverte colocada en “estructura”.	81
Fig. 4.92 Codos de PVC instalados.	81
Fig. 4.93 “Estructura” con esquinas de soporte y placa informativa.	82
Fig. 4.94 Rejillas e interruptor de llave instalados. a) Vista lateral izquierda, b) Vista lateral derecha.	82
Fig. 4.95 Vista interna del subensamble “conjunto envolverte”.	83
Fig. 4.96 “Cubierta de protección del sensor UV” instalada.	84
Fig. 4.97 Unión de tapas con jaladeras.	84
Fig. 4.98 Unión del macetero trasero con la estructura del tótem.	85
Fig. 4.99 Tótem medidor de condiciones ambientales. a) Vista 1 b) Vista 2, c) Vista 3.	85
Fig. 4.100 Valores de latencias para documentos escritos.	89
Fig. 4.101 Gráfica de latencias de escrituras en Firestore durante 10 minutos.	89
Fig. 4.102 Presencia de la Cordillera de los Andes en Ecuador.	92
Fig. 4.103 Mediciones de temperatura del día 15/04/2025.	94
Fig. 4.104 Mediciones de temperatura del día 17/04/2025.	94
Fig. 4.105 Mediciones de humedad del día 15/04/2025.	95
Fig. 4.106 Mediciones de humedad del día 17/04/2025.	96
Fig. 4.107 Mediciones de PM _{2,5} del día 15/04/2025.	97
Fig. 4.108 Mediciones de PM ₁₀ del día 15/04/2025.	98
Fig. 4.109 Mediciones del índice UV del día 15/04/2025.	99

Fig. 4.110 Irradiancia solar en franjas horarias.	100
Fig. 4.111 Evolución del proceso carga.	102
Fig. 4.112 Evolución del proceso descarga.	103
Fig. 4.113 Evolución del proceso carga-descarga en cielo nublado.	104
Fig. 4.114 Evolución del proceso carga-descarga en cielo despejado.	105

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Rangos, significados y colores de las categorías del IQCA.	16
Tabla 2.2 Límites numéricos de cada categoría del IQCA ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).....	16
Tabla 2.3 Identificación de individuos sensibles por tipo de contaminante.	17
Tabla 4.1 Componentes del ensamble general “Tótem Medidor de Condiciones Ambientales” (Fig. 4. 30).	53
Tabla 4.2 Componentes del subensamble “Conjunto Envolvente” (Fig. 4.31).	55
Tabla 4.3 Componentes del subensamble “Cubierta de protección del sensor UV” (Fig. 4.32).	56
Tabla 4.4 Costo de piezas de estructura.....	86
Tabla 4.5 Costo de procesos de manufactura.	86
Tabla 4.6 Costo de componentes para circuito del sistema.	87
Tabla 4.7 Costo total del sistema.....	87
Tabla 4.8 Resultados estadísticos entre la termocupla y tótem (15/04/2025).	94
Tabla 4.9 Resultados estadísticos entre la termocupla y página web (15/04/2025).	94
Tabla 4.10 Resultados estadísticos entre la termocupla y tótem (17/04/2025).	94
Tabla 4.11 Resultados estadísticos entre la termocupla y página web (17/04/2025).	95
Tabla 4.12 Resultados estadísticos entre el higrómetro y tótem (15/04/2025).....	96
Tabla 4.13 Resultados estadísticos entre el higrómetro y página web (15/04/2025).	96
Tabla 4.14 Resultados estadísticos entre el higrómetro y tótem (17/04/2025).....	96
Tabla 4.15 Resultados estadísticos entre el higrómetro y página web (17/04/2025).	97
Tabla 4.16 Comparación de mediciones entre el tótem y la página web (15/04/2025)..	98

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

Las condiciones ambientales extremas producen muchas afecciones a la salud. La radiación ultravioleta generada de forma natural o artificial es la causa de diversas afecciones, tales como quemaduras solares, queratosis actínica, tumores malignos de piel y las cataratas a nivel ocular [1].

Estudios realizados en Latinoamérica han revelado, en el año 2020, la presencia del cáncer de piel en 159,9 hombres y en 86,03 mujeres por cada 100 000 habitantes de Brasil. En Colombia, se ha detectado esta enfermedad en 102 habitantes por cada 100 000. Con respecto al Ecuador, de acuerdo con el Registro Nacional de Tumores (RNT) de la Sociedad de Lucha Contra el Cáncer (SOLCA), el cáncer de piel ocupa el segundo lugar en las patologías oncológicas en hombres con mayor frecuencia y el tercero en mujeres [2].

La razón de que exista un nivel tan alto de radiación en el Ecuador se debe a que el país está ubicado cerca de la línea Equinoccial, lo que implica que los rayos del sol llegan perpendicularmente al territorio, con una atmósfera protectora más delgada que en otras regiones [3].

Las ciudades que están situadas a mayor altura con respecto al nivel del mar son las que reciben mayores niveles de radiación. Tal es el caso de las ciudades que están ubicadas en la sierra ecuatoriana. A mayor altitud hay menos atmósfera y, por lo tanto, menos cantidad de ozono, el cual reduce los niveles de radiación solar. Se estima que, por cada 1000 metros de altitud, el nivel de la radiación solar se incrementa en un 10% a 12% [4].

Hoy en día existen problemas en cuanto al desconocimiento de las variables ambientales en espacios públicos, ya que algunos parámetros, como la temperatura, humedad y calidad del aire,

son factores que pueden promover la proliferación de enfermedades si no se los tiene bajo ciertos valores estables.

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), la contaminación del aire se encuentra dentro de los mayores riesgos ambientales para la salud humana. Se sabe que anualmente se generan alrededor de 7 millones de muertes a nivel mundial. Este nivel de mortalidad se debe al hecho de que 9 de cada 10 personas respiran aire contaminado en diferente grado [5].

El dióxido de carbono, también conocido como CO₂, es un gas que en caso de encontrarse en elevadas cantidades puede generar insuficiencias respiratorias, disminución de la función pulmonar, el envejecimiento de los pulmones. Las personas más vulnerables a sufrir afecciones son las que están enfermas de los pulmones o del corazón. También presentan un alto riesgo de enfermedad los niños y las personas de edad avanzada [6].

Finalmente, debido a que en la mayoría de los casos no se conocen los valores de las variables ambientales ni las medidas recomendadas, las personas son vulnerables a sufrir diversas enfermedades. Si no se posee un medidor por medio del cual la gente pueda conocer las condiciones ambientales presentes, estas no pueden tomar las precauciones debidas para proteger su salud, lo que genera que el porcentaje de enfermedades aumente, incluyendo el riesgo de muerte por afecciones como el melanoma.

1.2. Objetivos

1.2.1. General

Desarrollar un tótem para la medición y visualización de variables ambientales en espacios públicos.

1.2.2. Específicos

- Analizar las opciones de medidores de variables ambientales existentes y las variables que manejan.
- Diseñar el prototipo incluyendo el sistema estructural, electrónico y computacional.
- Implementar el medidor de variables ambientales para someterlo a condiciones reales de funcionamiento.

1.3. Alcance y delimitación

El proyecto propone el desarrollo de un prototipo tipo tótem capaz de monitorear variables ambientales, tales como la radiación ultravioleta, la temperatura y un parámetro de la calidad del aire. Se desarrollará una interfaz que permita al usuario visualizar los datos recopilados. Esto se logrará por medio de comunicación inalámbrica y el uso de uno o varios microcomputadores que sean capaces de manejar los datos provistos por los sensores. La construcción del medidor tipo tótem incluirá la estructura, el sistema electrónico y la programación. Este medidor poseerá un panel solar por medio del cual obtendrá la energía necesaria para funcionar. Finalmente, se ejecutarán las respectivas pruebas de funcionamiento.

1.4. Justificación

En el aspecto económico y técnico, la importación de un solmáforo resulta costosa, debido a los costos de envío y del producto en general. Además, en el mercado no existen medidores de varias variables ambientales tipo tótem, sino que existen medidores destinados para interiores, como museos. Estos dispositivos no están diseñados para soportar ambientes extremos en el exterior.

En el aspecto social, debido a que gran parte de los medidores del mercado no poseen tecnología IoT (Internet de las Cosas), no son capaces de transmitir la información a la nube, de tal forma que no se puede realizar un manejo de datos en una interfaz que el usuario pueda abrir desde la

comodidad de su teléfono u ordenador. El proyecto planteado permite guardar la información proporcionada por los sensores en una base de datos, lo que es crucial para que se puedan desarrollar futuras investigaciones.

Por otro lado, en el aspecto educativo, la incorporación de una interfaz en la que el usuario pueda observar los valores de las variables ambientales, los riesgos que existen y las respectivas recomendaciones y medidas preventivas, ayuda en gran manera a educar a la población y disminuir las enfermedades generadas por radiaciones solares elevadas, respiración de aire contaminado y exposición a temperaturas altas o bajas.

Por último, el medidor de variables ambientales tipo tótem puede ayudar en el desarrollo de futuros desarrollos ambientales y médicos, ya que se conoce que los valores de estas variables pueden generar enfermedades en caso de que no se encuentren en un nivel adecuado; además, al conocer estas variables se pueden predecir sucesos como lluvias o sequías en la zona.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Diversos trabajos y estudios abordan el monitoreo ambiental a través de sensores y sistemas electrónicos. A continuación, se resumen los principales desarrollos previos que han servido de base para la propuesta del proyecto.

En Ambato se ha implementado un solmáforo que muestra los niveles de radiación ultravioleta a estudiantes, utilizando el sensor SI1145, una Raspberry Pi 3 B+, un panel P6 LED RGB de 64x32 y una tarjeta Adafruit Matrix HAT + RTC. El sistema funciona con Raspbian, Grafana y MQTT, y muestra los datos tanto en una interfaz física como en la web [4].

En Ibarra, se han instalado estaciones de bajo costo que relacionan la calidad del aire con el tráfico vehicular. Se emplea el sensor AirGradient O 1PST para medir CO₂, PM_{2,5}, y PM₁₀ en tiempo real, con un coeficiente de determinación R² de 0,95, aunque con limitaciones en valores instantáneos [7].

En [8] se diseña un sistema para monitorear radiación UV en agricultores. Se usa el sensor ML8511, el ESP32 WROOM 32, y el ESP32 TTGO. El sistema transmite los datos mediante el protocolo ESP-NOW por Bluetooth, y una aplicación móvil desarrollada en Flutter permite visualizar los resultados y alertar a los usuarios.

En [9] se implementa un medidor de irradiancia solar basado en registros de datos de arquitectura de código abierto. Se utiliza un sensor de silicio, una pantalla LCD, un módulo reloj, y almacenamiento en tarjeta SD. El software se desarrolla en Java y Arduino IDE. Como resultado, se obtiene un medidor de irradiación solar capaz de mostrar la hora, fecha, temperatura, y cantidad de Watts detectados.

En Quito se ha desarrollado un módulo detector de radiación solar. Este integra el sensor ML8511 y el ESP32, junto con un módulo LED RGB y displays de 7 segmentos. El sistema envía datos por Wi-Fi a una página web y los muestra niveles de radiación mediante colores e indicadores numéricos [10].

En [11] se propone la implementación de un prototipo de monitoreo de distintas variables ambientales, como temperatura, humedad relativa, radiación ultravioleta y calidad del aire. Se utiliza un Arduino Mega, junto con los sensores DHT22, MQ-135, un sensor UV y un módulo Wi-Fi ESP8266. Como resultado, se obtiene un prototipo funcional que es evaluado comparando sus resultados con otros dispositivos de referencia en Bogotá D.C.

En [12] se realiza el diseño y desarrollo de un sistema de monitoreo de radiación solar para la Universidad Nacional de Loja. Se instala una red de sensores UV GUVA-S12SD que se comunican con una estación base mediante conexiones alámbricas e inalámbricas. La estación base procesa los datos adquiridos para su posterior visualización en una aplicación basada en Android. Para lograr esto se utiliza una Raspberry Pi 3B y un módulo Xbee S2. Como resultado, se obtiene un medidor IoT (Internet of Things con sus siglas en inglés) funcional que muestra sus datos en una aplicación móvil.

En [13] se plantea la propuesta del despliegue de nodos IoT para la medición de variables contaminantes en el aire. La plataforma incluye los sensores distribuidos, el procesamiento en edge computing, el desarrollo en Kubernetes y la creación de una interfaz para visualizar la evolución de las variables. Como resultado, se obtiene una arquitectura basada en sensores distribuidos que es escalable, debido a la capacidad de conexión con más dispositivos externos.

En [14] se diseña e implementa un sistema de monitoreo de parámetros ambientales físicos en una empresa industrial. Se utiliza una red de sensores inalámbricos (WSN), un Gateway MEMSIC, la plataforma web Ubidots, una base de datos y un middleware desarrollado en Java.

Como resultado, se obtiene una WSN de bajo costo y bajo consumo, que alcanza una precisión de hasta un 10 % de diferencia respecto a dispositivos calibrados, con mejora progresiva gracias a la autocalibración.

En [15] se muestra el desarrollo de una plataforma SaaS (Software Como Servicio, en inglés Software As A Service) que es capaz de mostrar los datos de varios sensores ambientales, los cuales miden parámetros de humedad, temperatura, presión, calidad del aire, entre otros. Se utilizan sensores DHT22, BME680 y TSL2591, y se conecta una Raspberry Pi 3 B+, además se trabaja con la plataforma de Amazon Web Services (AWS). La interfaz se programa con Python, JavaScript y DynamoDB. Como resultado, se obtiene una página web que no posee servidor local y que comparte los datos en tiempo real desde la nube.

En [16] se realiza el diseño de una aplicación IoT para el monitoreo de la humedad del suelo, humedad del aire, temperatura del ambiente y la incidencia de la luz solar en casas de cultivo. Se utiliza la plataforma de código abierto ThingsBoard para la recopilación, procesamiento y gestión de los datos. Como resultado, se obtiene una aplicación capaz de medir, gestionar y almacenar la información de diversas variables ambientales.

En [17] se analiza y evalúa las mediciones del sensor ML8511 mediante una comparación con un radiómetro espectral en el Observatorio Geofísico de Huancayo ubicado en Perú. Durante el estudio se han realizado mediciones, análisis con LabVIEW y procesos estadísticos para un correcto contraste de valores. Como resultado, se determina que el sensor tiene una correlación de 0,8795 con la referencia, lo que muestra que el sensor tiene una elevada exactitud.

En [18] se presenta el desarrollo de un pico satélite tipo CanSat, diseñado para recolectar datos provenientes de distintos sensores ambientales y enviarlos a una estación base. El sistema se construye utilizando una placa NodeMCU V3, junto con sensores de GPS, presión, temperatura y humedad, además de un módulo de radiofrecuencia para la transmisión. El resultado es un

prototipo funcional, capaz de captar variables atmosféricas y asociarlas con su ubicación geográfica.

En [19] se desarrolla un sistema embebido móvil para vehículos, enfocado en el reconocimiento de patrones de calidad del aire en Ibarra. Se emplean sensores MQ-7, MQ-135, ML8511, DHT11 y un módulo GPS, con comunicación GPRS y almacenamiento en la plataforma Ubidots. Como resultado, se obtiene un sistema que monitorea radiación, temperatura, humedad y gases tóxicos, geolocalizando las zonas contaminadas.

En [20] se diseña y evalúa un medidor de radiación UV-B con conexión a internet de bajo costo. Se emplean placas Arduino y Raspberry Pi, el sensor ML851 y se programa en C++, Python, HTML y JavaScript. Los datos se suben a un servicio web. Como resultado, se obtiene un sistema preciso para cielos despejados, capaz de almacenar la información en la nube.

En [21] se implementa un prototipo de alarma para PM_{2,5}, que clasifica los niveles de contaminación utilizando una red neuronal. Se emplea el sensor Sharp GP2Y1010AU0F, un Arduino UNO y un algoritmo en Python. La visualización se realiza por Bluetooth mediante la aplicación Serial Bluetooth Terminal. Como resultado, se obtiene un sistema capaz de clasificar los niveles de PM_{2,5} en tres categorías, con una precisión del 99,90 %.

En [22] se diseña un sistema portátil para ciclistas que mide la calidad del aire y transmite los datos por Bluetooth a un dispositivo móvil. Se utiliza un Arduino UNO, un módulo HC-05 y un sensor Sharp GP2Y1010AU0F adaptado de investigaciones previas [23]. Como resultado, se obtiene un sistema funcional, aunque se determina que el sensor presenta limitaciones para detectar correctamente PM_{2,5} y PM₁₀.

En [24] se diseña un prototipo medidor de radiación ultravioleta alimentado por energía solar. Se realiza la implementación de varios componentes, como la placa TM4C1294, una batería, un panel solar y un piranómetro. Finalmente, se desarrolla una página web para la respectiva

visualización de los datos adquiridos. Como resultado, se obtiene un sistema con un alto grado de exactitud que presenta una rápida respuesta ante las variaciones en el nivel radiación.

2.2. Medidores de variables ambientales

Los medidores de variables ambientales no hacen referencia únicamente a los sensores, sino a sistemas completos que integran sensores con módulos de comunicación, visualización y procesamiento de datos. Estos sistemas permiten que la información sea interpretada por los usuarios, en muchos casos, a través de interfaces físicas o digitales.

En el mercado ecuatoriano, no existen tótems informativos que sean diseñados para su uso en exteriores y que sean capaces de medir diversas variables ambientales. A nivel internacional, los dispositivos más ofertados son las estaciones meteorológicas, aunque la mayoría de ellas están dirigidas a uso técnico o científico, y no contemplan la interacción con usuarios sin formación especializada. A excepción del solmáforo, que en la mayoría de sus modelos solo mide el índice de radiación ultravioleta, es poco común encontrar productos que integren diversas variables ambientales y presenten información de forma accesible.

Entre los dispositivos disponibles en el mercado internacional se destacan las estaciones meteorológicas, como las que ofrecen Met One Instruments, Campbell Scientific, Firstrate Sensor y Hunan Rika Electronic Tech pero estos productos se usan en ambientes científicos y no para informar a usuarios que no tienen una preparación técnica. Debido a esto, tanto en su aspecto estético como informativo, presentan muchas falencias.

Met One Instruments ofrece el sistema de monitoreo AQ EAGLE [25], que mide múltiples parámetros meteorológicos a través de sensores como el ES-405, para partículas PM10, PM4, PM2,5 y PM1; y el AIO 2, que registra temperatura, humedad, velocidad y dirección del viento, y presión barométrica. Este sistema incluye el módem CCS COMET Cloud Plus+ para la

transmisión de datos a la nube, y presenta la información exclusivamente en una página web personalizada. Este producto se observa en la Fig. 2.1.



Fig. 2.1 Estación AQ EAGLE [25].

Campbell Scientific comercializa la estación WxPRO [26], la cual está enfocada a aplicaciones de investigación. Esta estación incorpora sensores como el HygroVue5 (temperatura y humedad relativa), el 03002-L (velocidad y dirección del viento), el TE525-L (pluviómetro), el CS100 (presión barométrica) y el CS301 (piranómetro). A pesar de su precisión, esta estación no ofrece visualización directa de los datos en el dispositivo, lo que limita su uso fuera del entorno científico. El producto se visualiza en la Fig. 2.2.



Fig. 2.2 Estación WxPRO [26].

Firstrate Sensor ofrece la estación meteorológica FST100-QXZ-01 de la Fig. 2.3 [27], que mide temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, presión atmosférica y precipitaciones. Este sistema integra sensores, cortinas de luz y recolectores de datos. A diferencia de las estaciones anteriores, presenta una pantalla LED impermeable que muestra los datos en tiempo real.



Fig. 2.3 Estación FST100-QXZ-01 [27].

Hunan Rika Electronic Tech presenta en su catálogo la estación RK900-01 de la Fig. 2.4 [28], que mide radiación solar, temperatura del aire, intensidad de luz, lluvia, humedad relativa, presión atmosférica, temperatura del suelo, velocidad y dirección del viento. Si bien cuenta con una pantalla LCD, esta se encuentra protegida dentro del gabinete del equipo, por lo que los datos solo son accesibles mediante el software asociado o con acceso físico al dispositivo.



Fig. 2.4 Estación RK900-01 [28].

2.3. Bases teóricas

2.3.1. Índice de la radiación ultravioleta

La radiación ultravioleta (UV) comprende un rango de longitudes de onda entre 100 y 400 nm, y se divide en tres subgrupos: UVA (315–400 nm), UVB (280–315 nm) y UVC (100–280 nm) [29]. La radiación UVC es completamente absorbida por la atmósfera debido a la acción del ozono, el vapor de agua, el oxígeno y el dióxido de carbono. La UVB se filtra en aproximadamente un 90 %, mientras que la UVA alcanza casi en su totalidad la superficie terrestre.

La exposición a la radiación UV en dosis moderadas tiene efectos beneficios para el ser humano, debido a que genera un aumento en la producción de la vitamina D y favorece el tratamiento de algunas enfermedades, tales como el raquitismo y la psoriasis. Sin embargo, la exposición excesiva genera diversas afecciones a la salud, como las quemaduras solares, bronceado, cáncer de piel y cataratas.

El Índice de Radiación Ultravioleta (IUV) se utiliza como una herramienta preventiva para comunicar el riesgo asociado a la exposición solar. Este índice cuantifica la intensidad de la radiación UV y se expresa como un número positivo, donde valores más altos indican mayor riesgo de daño en la piel y los ojos. Este valor se calcula por medio de

$$I_{UV} = K_{er} \cdot \int_{250\text{ nm}}^{400\text{ nm}} E_{\lambda} \cdot s_{er}(\lambda) d\lambda, \quad (2.1)$$

donde E_{λ} corresponde a la irradiancia espectral solar a la longitud de onda λ , $d\lambda$ al diferencial de longitud de onda, $s_{er}(\lambda)$ al espectro de acción de referencia para el eritema y K_{er} a una constante de $400\text{ m}^2/\text{W}$ [29].

Para observaciones continuas, se recomienda calcular promedios cada 5 a 10 minutos. El índice se clasifica en categorías de exposición, cada una con un color correspondiente, lo que facilita su interpretación por parte del público (Fig. 2.5 y 2.6). Por debajo de un nivel 3, no se requiere

protección especial. A partir de ese nivel, se recomienda aplicar medidas de fotoprotección, las cuales deben reforzarse cuando el índice alcanza niveles de 8 o más.

CATEGORÍA DE EXPOSICIÓN	INTERVALO DE VALORES DEL IUV
BAJA	< 2
MODERADA	3 A 5
ALTA	6 A 7
MUY ALTA	8 A 10
EXTREMADAMENTE ALTA	11+

Fig. 2.5 Categorías de exposición a la radiación UV [29].



Fig. 2.6 Sistema de protección solar recomendado [29].

2.3.2. Sensores de luz ultravioleta

2.3.2.1. GY-ML8511

El GY-ML8511, también conocido como ML8511 (Fig. 2.7), detecta la radiación UV entre 280 y 390 nm, cubriendo los rangos UVA y UVB. Ofrece una salida analógica lineal proporcional a la intensidad de la radiación, y cuenta con un amplificador interno que convierte la fotocorriente en voltaje, por lo que se utiliza en aplicaciones destinadas al monitoreo de condiciones ambientales, aplicaciones meteorológicas y cuidados de piel [19].

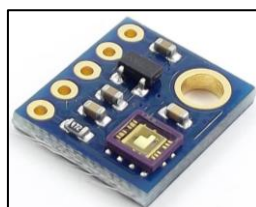


Fig. 2.7 Módulo sensor de luz ultravioleta ML8511 [30].

2.3.2.2. *VEML6070*

El VEML6070 de la Fig. 2.8 opera mediante el protocolo I2C y detecta longitudes de onda entre 320 y 410 nm (con un pico en 355 nm). Se lo considera un sensor UV real debido a que no hace aproximaciones en base al nivel de luz detectado, como el SI1145. Incluye un conversor analógico-digital (ADC) y puede integrarse con microcontroladores con voltajes de 3 a 5 V [31].

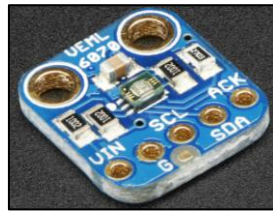


Fig. 2.8 Sensor VEML6070 [31].

2.3.2.3. *SI1145*

El SI1145 de la Fig. 2.9 no contiene un sensor UV como tal, pero realiza una estimación del índice UV mediante la detección de luz visible e infrarroja y por medio de su algoritmo detecta longitudes de onda de entre 550 a 1000 nm (luz infrarroja) y 400 a 800 nm (luz visible). También utiliza comunicación I2C y funciona con voltajes de 3 a 5 V [32].



Fig. 2.9 Sensor SI1145 [32].

2.3.3. *Índice de la calidad del aire*

El Índice de Calidad del Aire (ICA) indica el nivel de contaminación atmosférica y su efecto sobre la salud humana. Se expresa en una escala adimensional de 0 a 500 puntos y considera

cinco contaminantes principales: partículas en suspensión PM_{2,5} y PM₁₀, ozono troposférico (O₃), dióxido de nitrógeno (NO₂), dióxido de azufre (SO₂) y monóxido de carbono (CO) [33].

- **Partículas en suspensión (PM_{2,5}):** Corresponde a la mezcla de partículas líquidas y sólidas que se encuentran en suspensión en el ambiente. La simbología PM_{2,5} corresponde al material particulado menor a 2,5 micrómetros, y la PM₁₀ al material menor a 10 micrómetros.
- **Ozono troposférico (O₃):** Es un contaminante secundario, pero de gran gravedad, que genera problemas en la salud pública y en el ecosistema, disminuyendo la productividad de los cultivos.
- **Dióxido de nitrógeno (NO₂):** Es un compuesto químico tóxico e irritante que se produce generalmente en incendios forestales y erupciones volcánicas y es capaz de generar diversas enfermedades de las vías respiratorias.
- **Dióxido de azufre (SO₂):** Es un gas irritante y de olor fuerte que se genera principalmente en la quema de productos petrolíferos.
- **Monóxido de carbono (CO):** Es un gas tóxico que se produce cuando se enciende algún combustible como gas natural, gasolina, petróleo, madera o carbón.

En Ecuador se utiliza el Índice Quiteño de Calidad del Aire (IQCA), el cual corresponde a una escala numérica que va desde cero hasta 500, y clasifica los niveles de contaminación en seis categorías: deseable (blanco), aceptable (verde), precaución (gris), alerta (amarillo), alarma (naranja) y emergencia (rojo) [34].

El valor 100 del IQCA representa el límite máximo permitido por la Norma Nacional de Calidad del Aire. La Tabla 2.1 resume los rangos, significados y colores asociados, mientras que la Tabla 2.2 presenta los valores límites para cada contaminante. La Tabla 2.3 especifica qué grupos poblacionales son considerados sensibles para cada contaminante, incluyendo niños,

personas con enfermedades respiratorias o cardiovasculares, mujeres embarazadas y adultos mayores.

Tabla 2.1 Rangos, significados y colores de las categorías del IQCA [34].

Rangos	Condición desde el punto de vista de la salud	Color
0-50	Óptima.	Blanco
50-100	Buena.	Verde
100-200	No saludable para individuos extremadamente sensibles (enfermos crónicos y convalecientes).	Gris
200-300	No saludable para individuos sensibles (enfermos)	Amarillo
300-400	No saludable para la mayoría de la población y peligrosa para individuos sensibles.	Naranja
400-500	Peligrosa para toda la población.	Rojo

Tabla 2.2 Límites numéricos de cada categoría del IQCA ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) [34].

Rango	Categoría	CO^a	O_3^b	NO_2^c	SO_2^d	$PM_{2,5}^e$	PM_{10}^f
0-50	Nivel deseable u óptimo	0-5000	0-50	0-100	0-62,5	0-25	0-50
51-100	Nivel aceptable o bueno	5001-10000	51-100	101-200	63,5-125	26-50	51-100
101-200	Nivel de precaución	10001-15000	101-200	201-1000	126-200	51-150	101-250
201-300	Nivel de alerta	15001-30000	201-400	1001-2000	201-1000	151-250	251-400
301-400	Nivel de alarma	30001-40000	401-600	2001-3000	1001-1800	251-350	401-500
401-500	Nivel de emergencia	>40000	>600	>3000	>1800	>350	>500

Notas: a, concentración máxima de promedio en 8 horas; b, concentración máxima de promedio de 8 horas; c, concentración máxima en 1 hora; d, concentración promedio en 24 horas; e, concentración promedio en 24 horas; f, concentración promedio en 24 horas.

Tabla 2.3 Identificación de individuos sensibles por tipo de contaminante [34].

Contaminante	Individuos Sensibles
Ozono	Niños que pasan tiempo en exteriores, adultos que realizan actividad física significativa en exteriores e individuos con enfermedades respiratorias.
Material particulado	Personas que presentan enfermedades de los pulmones o el corazón, tales como asma, obstrucción pulmonar crónica, congestiones cardíacas o similares.
Monóxido de carbono	Personas con enfermedades cardiovasculares, tales como angina o aquellas con afectaciones que comprometen a los sistemas cardiovascular y respiratorio (por ejemplo, fallas congestivas del corazón, enfermedades cerebro vasculares, anemia, obstrucción crónica del pulmón), las mujeres embarazadas, los bebés en gestación y recién nacidos.
Dióxido de azufre	Niños, adultos con asma u otras enfermedades respiratorias crónicas y personas que realizan actividades físicas en exteriores.
Dióxido de nitrógeno	Niños y adultos con enfermedades respiratorias con el asma.

2.3.4. Sensores de calidad del aire

2.3.4.1. GP2Y1010AU0F

El GP2Y1010AU0F (Fig. 2.10) es un sensor óptico que detecta material particulado (polvo) mediante un diodo emisor de infrarrojos y un fototransistor en disposición diagonal. Su salida es un voltaje proporcional a la concentración de partículas. Presenta un bajo consumo (alrededor de 20 mA) y se alimenta con un voltaje de 0,3 hasta 7 VCC. Tiene una sensibilidad de 0,5 V por cada 0,1 mg/m³ de polvo detectado en el aire [35] [36].



Fig. 2.10 Sensor GP2Y10AU0F [35].

2.3.4.2. *MQ-7*

El MQ-7 de la Fig. 2.11 es un sensor electroquímico de rápida respuesta que mide monóxido de carbono (CO) en un rango de 20 a 2000 ppm. Su conductividad aumenta con la concentración del gas y la sensibilidad puede ajustarse mediante un potenciómetro [37].



Fig. 2.11 Sensor MQ-7 [38].

2.3.4.3. *MQ-135*

El MQ-135 (Fig. 2.12) detecta varios gases como amoníaco, óxidos de nitrógeno, alcohol, benceno, humo y dióxido de carbono, por lo que generalmente se lo implementa en circuitos de control, como alarmas. Proporciona salidas analógicas y digitales, y su conductividad varía en función de la contaminación del aire [39].

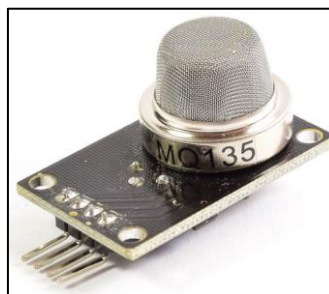


Fig. 2.12 Sensor MQ-135 [40].

2.3.4.4. *PM SDS011*

El SDS011 (Fig. 2.13) es un sensor de alta precisión (error relativo del 10%) y rápida respuesta que emplea el principio de dispersión láser para detectar partículas PM2,5 y PM10. Ofrece salida digital por USB (UART), por lo que no se necesita de un conversor analógico a digital

externo. También incorpora un ventilador interno y tiene un tiempo de respuesta menor a 10 segundos [41].



Fig. 2.13 Sensor MQ-135 [41].

2.3.5. Sensores de temperatura y humedad relativa DHT11 y DHT22

Los sensores DHT11 y DHT22 que se visualizan en la Fig. 2.14 miden la temperatura y la humedad relativa mediante un sensor capacitivo y un termistor. La salida se transmite como una señal digital. Ambos modelos son compatibles con plataformas como Arduino, Raspberry Pi y NodeMCU, y se comunican mediante el protocolo “Single bus”.

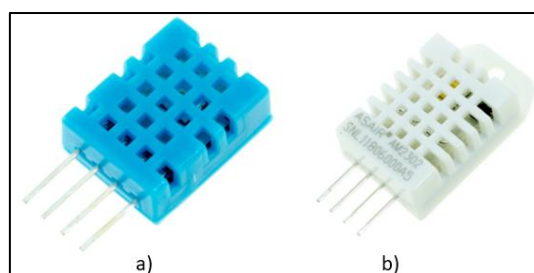


Fig. 2.14 Sensores de temperatura y humedad relativa: a) DHT11; b) DHT22 [42] [43].

Estos sensores están calibrados de fábrica, y almacenan coeficientes en memoria OTP (Programable Una Sola Vez, en inglés One-Time-Programmable) para asegurar estabilidad y precisión. Sin embargo, presentan limitaciones: no deben exponerse a radiación UV, no permiten tomar lecturas con intervalos menores a 2 segundos, y la longitud del cable de

conexión no debe superar los 20 metros. El DHT22 ofrece mayor precisión y un rango de medición más amplio que el DHT11, además de un encapsulado más robusto [42] [43].

2.3.6. Protocolos de comunicación de acceso a la red

2.3.6.1. ZigBee

ZigBee es un protocolo inalámbrico de bajo consumo y de alto nivel basado en el estándar 802.15.4. Permite comunicación en redes tipo malla, con rutas dinámicas y autorrecuperación.

Un nodo puede funcionar como coordinador, router o dispositivo terminal (end device) [44].

Este protocolo, como se muestra en la Fig. 2.15, es utilizado frecuentemente en domótica y sistemas distribuidos debido a que es de tamaño reducido y económico. Además, gestiona de forma automática la red, manteniendo las rutas de forma dinámica, lo que ayuda a que la red corrija situaciones de desconexión parcial de los nodos de forma automática [44].



Fig. 2.15 Domótica con ZigBee [44].

2.3.6.2. Bluetooth

Bluetooth permite la transmisión de voz y datos operando en la banda de 2,4 GHz. Utiliza saltos de frecuencia para encontrar el canal óptimo, ofreciendo baja latencia y bajo consumo energético. Está especializado para trabajar en distancias cortas, a diferencia de otros protocolos como Wi-Fi. Además, debido a que se alcanza velocidades bajas de transferencia de datos (50 Mb/s en Bluetooth 5.0), no es adecuado para transmisiones de grandes volúmenes de datos [45] [46].

2.3.6.3. Wi-Fi

Wi-Fi es un protocolo de comunicación inalámbrica de alta velocidad basado en el estándar IEEE 802.11. Permite la creación de redes locales y el acceso a internet mediante routers. Su uso está enfocado a transmisiones de alta tasa de datos, y requiere que los nodos permanezcan en escucha activa para recibir tramas en cualquier momento [47].

Este protocolo de acceso a la red es de salto único para redes ad-hoc que, además, brinda funcionalidades de ahorro de energía. Wi-Fi está enfocado a transmisiones de altas tasas de información [4].

2.4. Análisis

A partir de la revisión realizada, se identifica que en el mercado ecuatoriano no existen tótems informativos de variables ambientales para exteriores. A nivel internacional, estos tipos de dispositivos también son escasos, con excepción del solmáforo, que solo mide radiación ultravioleta.

Los productos que se encuentran más ampliamente son las estaciones meteorológicas científicas, las cuales no están diseñadas para informar al público general, sino que se centran para aplicaciones de carácter técnico. Estas estaciones no presentan interfaces gráficas de libre acceso desde donde las personas sin conocimientos técnicos puedan visualizar fácilmente los datos.

Los proyectos revisados en la literatura se enfocan en la medición de distintos parámetros ambientales, tales como: temperatura, humedad relativa, radiación ultravioleta, velocidad del viento, presión atmosférica y algunas variables de la calidad del aire, como PM_{2,5}, PM₁₀, monóxido de carbono y dióxido de carbono.

Estos proyectos utilizan comúnmente sensores como el DHT11, DHT22, ML8511, SII145, MQ-135, MQ-7, ES-405, AIO 2 y HygroVue5, además de placas Arduino Uno, Arduino Mega

y Raspberry Pi 3 B+. Estas plataformas ofrecen un balance adecuado entre costo y funcionalidad, siendo apropiadas para el desarrollo de sistemas de monitoreo ambiental.

Finalmente, se observa que muchos de estos dispositivos integran tecnologías IoT que permiten almacenar datos en bases de datos y visualizarlos desde aplicaciones web. Esta integración mejora el acceso a la información y favorece el análisis en tiempo real, características que serán consideradas en el desarrollo del presente tótem medidor de condiciones ambientales.

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Enfoque y tipos de investigación

La investigación es de tipo aplicada debido a que se centra en la resolución de un problema en un contexto determinado, mediante la aplicación de conocimientos y teorías adquiridas durante la formación profesional [48]. En este caso, se propone una alternativa de solución de un tótem medidor de condiciones ambientales para espacios públicos.

La investigación también tiene un enfoque documental, pues requiere una revisión bibliográfica de diversas fuentes, como artículos científicos, tesis, reportes técnicos y páginas web especializadas [49], con el objetivo de establecer los fundamentos teóricos y técnicos que sustenten el diseño del prototipo.

Además, se tiene un enfoque de investigación descriptiva, ya que es necesario identificar las propiedades y características de los componentes electrónicos, sensores, placas de desarrollo y protocolos de comunicación que pueden emplearse en el sistema [50].

Finalmente, la investigación posee un enfoque experimental basado en la necesidad de ejecutar pruebas de funcionamiento que validen el correcto funcionamiento del prototipo, mediante la manipulación de variables independientes y la observación de sus efectos sobre las variables dependientes [51].

3.2. Diseño de la investigación

El desarrollo del proyecto se genera a través de la ejecución de diversas actividades enfocadas en el cumplimiento de los objetivos específicos y del objetivo general. Las fases y actividades planteadas se ejecutan de forma secuencial, de tal forma que se garantice el desarrollo del tótem medidor de variables ambientales.

3.2.1. Fase 1: Análisis de las opciones de medidores de variables ambientales existentes y las variables que manejan

En esta fase se analiza el estado del arte mediante en relación con los medidores de variables ambientales disponibles, así como las variables comúnmente consideradas en estos dispositivos a través de la investigación documental.

- ***Actividad 1.1: Búsqueda de información sobre medidores ambientales y sensores existentes;*** Se recopila información sobre medidores desarrollados en los últimos cinco años a partir de proyectos de tesis, artículos científicos y catálogos de dispositivos comerciales.
- ***Actividad 1.2: Determinación de variables ambientales que se medirán con el tótem;*** Se identifican las variables ambientales más relevantes según los dispositivos revisados. Esta actividad se apoya en fuentes documentales para establecer qué parámetros serán monitoreados por el prototipo.

3.2.2. Fase 2: Diseño del prototipo

En esta fase se definen los requisitos del sistema a través de la investigación documental y descriptiva, y se desarrollan los diferentes subsistemas que conforman el tótem: electrónico, computacional y estructural.

- ***Actividad 2.1: Determinación de los requerimientos del prototipo;*** Se identifican y especifican las características que debe presentar el diseño del tótem, lo que permite seleccionar los componentes electrónicos y mecánicos de forma ordenada y adecuada.
- ***Actividad 2.2: Propuesta de solución;*** Se plantea una solución que integre los requerimientos estipulados.

- **Actividad 2.3: Diseño de las conexiones del circuito;** Se diseñan las conexiones del sistema a través de un diagrama o esquema eléctrico en el cual se detalle la relación que presentan los diversos componentes.
- **Actividad 2.4: Creación de la interfaz;** Se diseña una interfaz gráfica que muestra los datos recopilados por los sensores. Además, se incorporan recomendaciones asociadas a los valores medidos.
- **Actividad 2.5: Diseño de la estructura física del prototipo;** En esta etapa se realiza el modelado tridimensional de la estructura mecánica del tótem utilizando un software CAD. Esto permite definir diversos parámetros, como dimensiones, formas, materiales a usar y otras características necesarias para la construcción del prototipo.

3.2.3. Fase 3: Implementación del tótem medidor de variables ambientales y ejecución de pruebas de funcionamiento

A través de los diseños realizados anteriormente, se ejecuta la construcción física del tótem medidor. De esta forma, se puede implementar el circuito desarrollado para realizar las respectivas pruebas de funcionamiento.

- **Actividad 3.1: Diseño y obtención de Placas de Circuito Impresas (PCB);** Se elabora la placa de circuito impreso que permita mantener el orden y la seguridad de las conexiones electrónicas del circuito, asegurando la estabilidad del sistema.
- **Actividad 3.2: Elaboración del sistema estructural;** Se construye la estructura mecánica del tótem siguiendo el diseño del modelo CAD. Se debe garantizar la protección de los componentes electrónicos frente a condiciones de lluvia, polvo y exposición solar directa.
- **Actividad 3.3: Instalación del sistema eléctrico;** Se realiza el montaje de todos los elementos electrónicos dentro del tótem, priorizando la funcionalidad.

- **Actividad 3.4: Ajustes y correcciones;** Se realizan las correcciones respectivas de los errores detectados en la estructura, sistema eléctrico o software programado.
- **Actividad 3.5: Realización de acabados en el tótem;** Se aplican acabados que mejoran la estética del prototipo.
- **Actividad 3.6: Ensayo de funcionamiento;** Se realizan pruebas para verificar el correcto desempeño del sistema y se comparan los datos obtenidos con otras fuentes confiables.
- **Actividad 3.7: Desarrollo del documento;** Se redacta todo el documento del Trabajo de Integración Curricular, tanto del Capítulo I, II, III y IV, así como las secciones complementarias.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1. Especificaciones del sistema

Para el proceso de diseño y construcción del dispositivo, se toman en cuenta diversos criterios y requerimientos, con el fin de garantizar su funcionalidad, resistencia y adaptabilidad al entorno de uso previsto. A continuación, se los describen:

- **Medición un parámetro de la calidad del aire;** medir el PM2,5 y PM10 debido a que son los más críticos para la salud de las personas.
- **Medición del índice de la radiación UV;** usar un sensor económico y fiable.
- **Medición de la temperatura del ambiente;** usar un sensor económico y fiable.
- **Estética;** tener una estructura minimalista y con colores adecuados.
- **Fácil instalación;** diseñar con el objetivo de tener un fácil ensamblaje.
- **Datos en tiempo real;** obtener los datos de los sensores de forma rápida y con un tiempo controlado.
- **Interfaz intuitiva;** diseñar una interfaz sencilla de usar sin necesidad de revisar algún manual o tutorial.
- **Autosustentable;** hacer uso de un panel solar para alimentar la batería del sistema.
- **Grado de protección;** tener un grado de protección IP65 para poder funcionar adecuadamente en exteriores.
- **Autónomo;** presentar escasa necesidad de manipulación humana.
- **Conectividad inalámbrica;** tener conexión por Wi-Fi.
- **Costo;** buscar tener un costo mínimo.

4.2. Solución propuesta

La solución consta de 4 grupos claves para el correcto funcionamiento del sistema. Estos conjuntos están interrelacionados entre sí y son interdependientes, afectando uno directamente sobre el otro, tanto en alimentación, como en ruido, estabilidad y recepción o envío de datos.

El diagrama de bloques de la solución se muestra en la Fig. 4.1. Nótese que los grupos están identificados por distintos colores: naranja (potencia), azul (medición), morado (interacción) y verde (control).

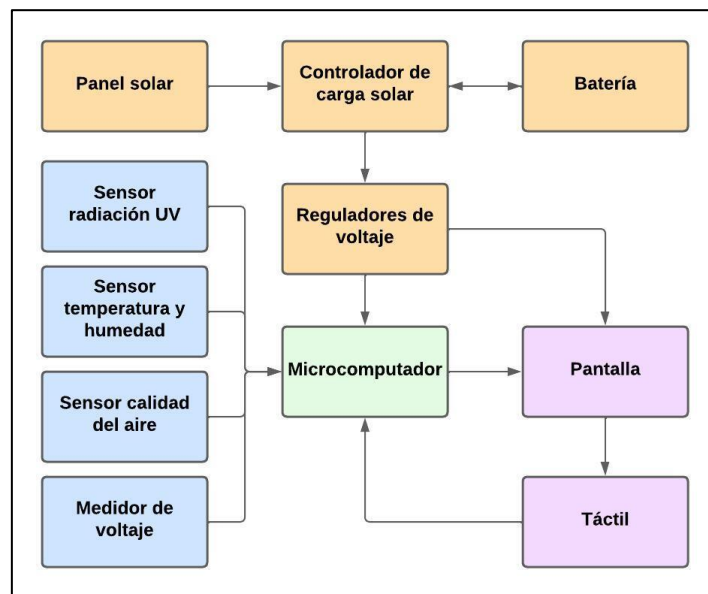


Fig. 4.1 Diagrama de bloques de la solución propuesta.

4.2.1. Potencia

Este grupo abarca todos los elementos encargados de suministrar y regular la energía eléctrica que alimenta al sistema. Los componentes y sus respectivas conexiones se pueden observar en la Fig. 4.2.

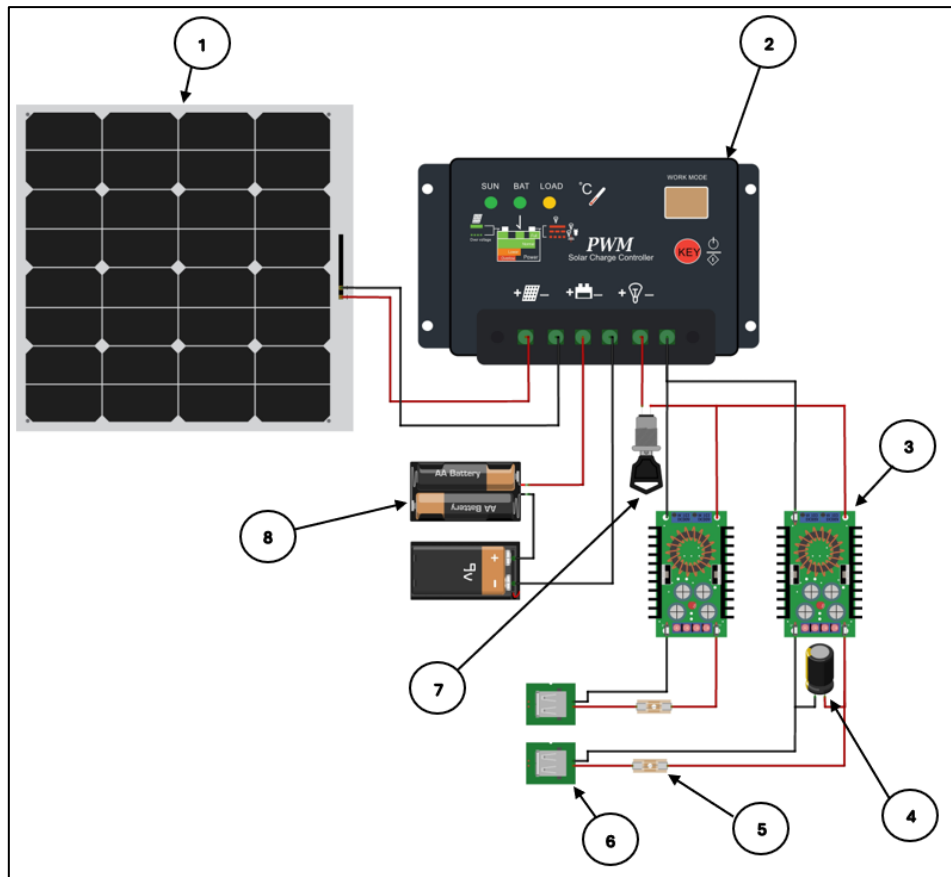


Fig. 4.2 Circuito de potencia.

- **Panel solar (1):** Panel solar de 18V (voltaje de máxima potencia) y 20 W (potencia máxima) que cumple la función de alimentar la batería. Se selecciona el modelo SYSM-20S de las Fig. 4.3 y 4.4. Gracias a su relación entre potencia y precio es una opción adecuada para cargar la batería de forma eficiente.



Fig. 4.3 Panel solar de 18 V y 20 W.

Technical Specification	
Model NO. :	SYSM-20S
Model Size(mm) :	485*360*28
Maximum Power(Pm) :	20.0Watt
Open Circuit Voltage(Voc) :	22.3V
Short Circuit Current(Isc) :	1.21A
Maximum Power Voltage(Vmp) :	18.0V
Maximum Power Current(Imp) :	1.12A
Working Temperature :	- 45° C+85° C
Tolerance :	± 3%
Test condition:	
AM=1.5E, 1000W/M², 25°C	
	
20191025078	

Fig. 4.4 Especificaciones técnicas del panel.

- **Controlador de carga solar (2):** Controlador YJSS/20A de la Fig. 4.5 que administra los procesos de carga y descarga de la batería de forma eficiente y segura. Su motivo de selección se basa en los diversos niveles de seguridad que presenta, como protección contra sobrecarga, sobredescarga, cortocircuitos, circuito abierto y flujo reverso. Es de precio asequible y resiste una corriente de salida máxima de 10 A.



Fig. 4.5 Controlador de carga solar YJSS/20A [52].

- **Regulador de voltaje XL4015E1 (3):** Módulo convertidor de voltaje DC-DC step-down de la Fig. 4.6. Reduce el voltaje de la salida del controlador a valores adecuados para el funcionamiento de la pantalla (5 V) y la Raspberry Pi 3B (5,21 V). El motivo de selección se basa en su alto nivel de eficiencia y de capacidad de corriente.

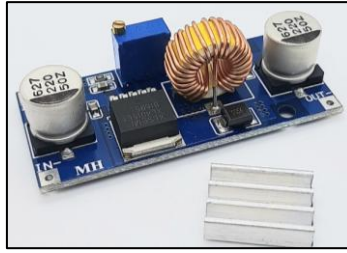


Fig. 4.6 Regulador de voltaje XL4015E1 [53].

- **Capacitor electrolítico de 1000 μ F y 16 V (4):** Estabiliza la salida del regulador, evitando reducciones de voltaje debido a picos de consumo de corriente. Su margen de temperatura es de $-40+105^{\circ}\text{C}$.
- **Fusibles (5):** Elemento de protección contra corrientes elevadas. Sus valores son de de 1 A y 250 V y 2,5 A y 250 V. El primero protege la pantalla, mientras que el segundo la Raspberry Pi.
- **Conectores USB – A (6):** Conectores de energía para la pantalla y la Raspberry Pi.
- **Interruptor de llave (7):** Interruptor de bloqueo de llave redonda del fabricante Jameco ValuePro capaz de soportar 125 VAC/4 A o 250 VAC/2 A (Fig. 4.7). Su selección se centra en su diseño, el cual permite retirar la llave en ambas posiciones, abierta o cerrada.



Fig. 4.7 Interruptor de bloqueo de llave redonda del fabricante Jameco ValuePro [54].

- **Batería recargable de 12 V y 5 Ah recargable (8):** Elemento encargado de almacenar la energía provista por el panel solar y alimentar el circuito de control. Se trabaja con una batería de 12 V y 5 Ah recargable VRLA (Batería de Plomo-Ácido Regulada por Válvula) de Powest [55], a la que se instalan disipadores de calor, como se visualiza en la Fig. 4.8. Los cálculos asociados a su selección se encuentran en la sección 4.2.1.1.



Fig. 4.8 Batería de 12 V y 5 Ah recargable VRLA con disipadores.

4.2.1.1. Cálculos

La elección del panel solar y la batería se basan en diversos cálculos energéticos y de potencia. A continuación, se desarrollan los análisis correspondientes para su selección y la determinación de los tiempos de carga y descarga.

- **Batería**

Se utiliza una batería de 12 V y 5 Ah, disponible en el mercado. La energía total almacenada se calcula a través de

$$E_{Nominal (Batería)} = V_{Nominal (Batería)} \cdot C_{Batería (Ah)}, \quad (4.1)$$

donde $E_{Nominal (Batería)}$ representa la energía total almacenada en la batería en [Wh], mientras que $V_{Nominal (Batería)}$ su tensión nominal en [V]. La variable $C_{Batería (Ah)}$ corresponde a la capacidad de la batería en [Ah]. Como resultado se obtiene 60 Wh.

Sin embargo, la batería no mantiene un voltaje constante durante su descarga. Se estima una descarga hasta el 60 % de su capacidad total, lo que corresponde a un voltaje mínimo de 7,2 V ($V_{Mínimo (Batería)}$). Con este valor se calcula la tensión efectiva media utilizable ($V_{Promedio}$) mediante

$$V_{Promedio} = \frac{V_{Nominal (Batería)} + V_{Mínimo (Batería)}}{2}. \quad (4.2)$$

Como resultado se obtiene 9,6 V, con lo cual se determina la energía utilizable real ($E_{\text{útil}}$) por medio de

$$E_{\text{útil}} = V_{\text{Promedio}} \cdot C_{\text{Batería}} (\text{Ah}), \quad (4.3)$$

obteniendo 48Wh. Este valor es menor a 60 Wh, debido a que considera la pérdida de voltaje durante la descarga.

Se estima que el sistema consume una corriente aproximada de 0,9 A ($I_{\text{Batería}}$). Por tanto, la potencia promedio consumida (P_{Circuito}) obtenida a través de

$$P_{\text{Circuito}} = V_{\text{Nominal (Batería)}} \cdot I_{\text{Batería}} \quad (4.4)$$

es de 10,8 W. Con este valor se calcula el tiempo de duración de la batería (t_{Descarga}) con la expresión

$$t_{\text{Descarga}} = \frac{E_{\text{útil}}}{P_{\text{Circuito}}}. \quad (4.5)$$

El tiempo de descarga estimado es de aproximadamente 4 horas y 27 minutos, sin considerar el aporte del panel solar. Este tiempo es adecuado para el objetivo del proyecto.

- **Panel solar (carga y descarga de la batería)**

El sistema utiliza un panel solar de 18 V y 20 W de potencia máxima (P_{Panel}). Se estima que el controlador de carga tiene una eficiencia del 80 %, al tratarse de un regulador PWM sin especificación explícita.

Se utiliza la Ecuación 4.2 para calcular el voltaje promedio utilizable, obteniendo 9,6 V. La potencia real suministrada por el panel ($P_{\text{Panel(final)}}$) se obtiene a través de

$$P_{\text{Panel(final)}} = P_{\text{Panel}} \cdot \eta_{\text{Controlador}}, \quad (4.6)$$

obteniendo como resultado 16 W. Como el sistema sigue consumiendo 10,8 W durante el día, se calcula la potencia neta en [W] (P_{Neta}), con

$$P_{Neta} = P_{Circuito} - P_{Panel(final)}. \quad (4.7)$$

El resultado de la potencia es negativo, siendo -5,2 W. Este valor indica que la batería no solo se mantiene estable, sino que se recarga mientras el panel solar recibe radiación suficiente. Por lo tanto, durante horas con buena irradiancia, el sistema puede operar sin interrupciones.

- **Panel solar (carga de la batería)**

Para calcular el tiempo necesario para recargar la batería desde 7,2 V hasta 12 V, se usa nuevamente el voltaje promedio de 9,6 V. Con una capacidad de 5 Ah, se requiere una energía de 48 Wh calculado con la Ecuación 4.3.

Dado que el panel entrega 16 W efectivos, el tiempo necesario para recargar completamente la batería (t_{carga}) se obtiene a través de la ecuación

$$t_{carga} = \frac{E_{\acute{u}til}}{P_{Panel(final)}}, \quad (4.8)$$

dando como resultado 3 horas. Esto indica que las elecciones del panel solar de 20 W y la batería de 12 V y 5 Ah son adecuadas, debido a que le permite al sistema funcionar durante un tiempo considerable con un tiempo de carga relativamente bajo.

4.2.2. *Medición*

Este bloque abarca todos los elementos digitales y analógicos encargados de la medición del voltaje de la batería y de los parámetros ambientales de temperatura, humedad, calidad del aire e índice UV. Los componentes se describen a continuación.

- **Sensor DHT22:** Módulo de la Fig. 4.9 que mide la temperatura y humedad relativa con un buen rendimiento a bajo costo. Se utilizan 2 sensores, en donde el primero obtiene las lecturas de humedad relativa y temperatura del ambiente, mientras que el segundo detecta la temperatura de la batería. Se suelda en la parte trasera de cada componente un capacitor de desacoplo cerámico CL21 474J400V que soporta temperaturas de hasta 85 °C. El capacitor cumple la función de filtrar el ruido de la línea de alimentación de altas frecuencias.

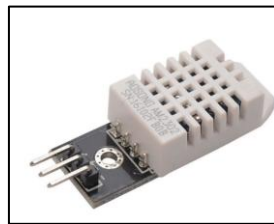


Fig. 4.9 Módulo de sensor DHT22 [56].

- **Sensor GY-ML8511:** Sensor analógico que detecta radiación UV-A y UV-B. Su elección responde a su disponibilidad en Ecuador y a su costo reducido en comparación con otras opciones del mercado. Además, mide la radiación UV real y no la estima, como otros sensores. Este componente se encuentra en la Fig. 4.10.

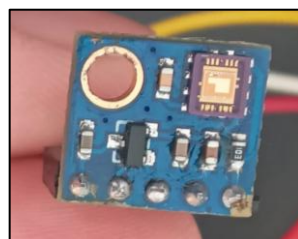


Fig. 4.10 Sensor GY- ML8511 adquirido.

- **Sensor PM SDS011:** Sensor de alta precisión de la Fig. 2.13 que permite detectar la densidad de PM_{2,5} y PM₁₀ en el ambiente a través de dispersión láser. Su selección se basa en elevada precisión en sus lecturas y en el ventilador centrífugo que presenta, el

cual permite obtener mejores mediciones. Este sensor posee un adaptador USB que permite la comunicación serial del sensor.

- **Divisor de voltaje:** Circuito para la detección del nivel de carga de la batería. Consta de varias resistencias y un conversor analógico a digital ADS1115 para trabajar con datos digitales.

4.2.3. *Interacción*

La interacción del sistema con el usuario se genera a través de una pantalla. Se selecciona la pantalla táctil de 10,1" LCD con resolución 1280x800 px compatible con Raspberry Pi de la marca WaveShare de dimensiones 274,11 x 187 mm (Fig. 4.11).



Fig. 4.11 Pantalla 10,1" TFT 1280*800 LCD HDMI [57].

La selección se realiza debido al tamaño que presenta el equipo, el cual es adecuado para la visualización de los datos en una interfaz. Su voltaje de operación es bajo en comparación con otras pantallas, debido a que solo se necesitan 5 V y un máximo de 1 A para un correcto funcionamiento. Además, la funcionalidad táctil que presenta la vuelve una opción perfecta para el desarrollo de una interfaz agradable al usuario, en donde este pueda interactuar de forma dinámica.

4.2.4. *Control*

El sistema de control consiste en la recepción y envío de datos de varios componentes, como el relé, pantalla táctil, sensores, entre otros. También involucra el procesamiento de datos, para su

visualización en una interfaz interactiva con el usuario. El elemento que controla todos los procesos descritos es la Raspberry Pi 3B V1.2, la cual se observa en la Fig. 4.12.



Fig. 4.12 Raspberry Pi 3B [58].

La Raspberry Pi es un microcomputador que tiene como cerebro el microcontrolador Broadcom BCM2837 con procesador ARMv8 de 64-bits. Es multiplataforma, siendo capaz de usar sistemas operativos basados en Linux y Windows. Presenta varios puertos de conexión, como USB, HDMI y Ethernet. Maneja tecnología de comunicación Wi-Fi y Bluetooth, sin la necesidad de agregar dispositivos extras. Su voltaje y corriente máxima de operación es de 5 V y 3 A, respectivamente [59].

La elección de este microcomputador se realiza debido la capacidad de conexión HDMI que presenta, la cual es crucial para la visualización de la interfaz gráfica en la pantalla sin necesidad de incorporar circuitos externos. También, el procesador de la Raspberry Pi 3B es significativamente superior en potencia y velocidad que el de otras placas, como el Arduino Mega, el cual tiene el procesador ATmega2560. Su velocidad de reloj es de 1,2 GHz y su memoria RAM es de 1 GB, a contraste con los 16 MHz y 8 kB del ATmega2560 [60].

Además, el sistema de conexión Wi-Fi que presenta es crucial para poder enviar los datos obtenidos a la nube para su posterior visualización en una aplicación web, sin mencionar que la Raspberry Pi 3B puede manejar el lenguaje Python, el cual es adecuado para la solución propuesta, gracias a su librería tkinter [61]. Todas estas características vuelven a la Raspberry Pi 3B la opción adecuada para la solución propuesta.

4.2.5. Circuito de control

Al unir los bloques de control, medición e interacción se obtiene el circuito de control de las Fig. 4.13 y 4.14. Nótese que se incluye la batería como parte de este circuito, debido a que esta cierra las conexiones del divisor de voltaje para poder obtener las lecturas del nivel de carga.

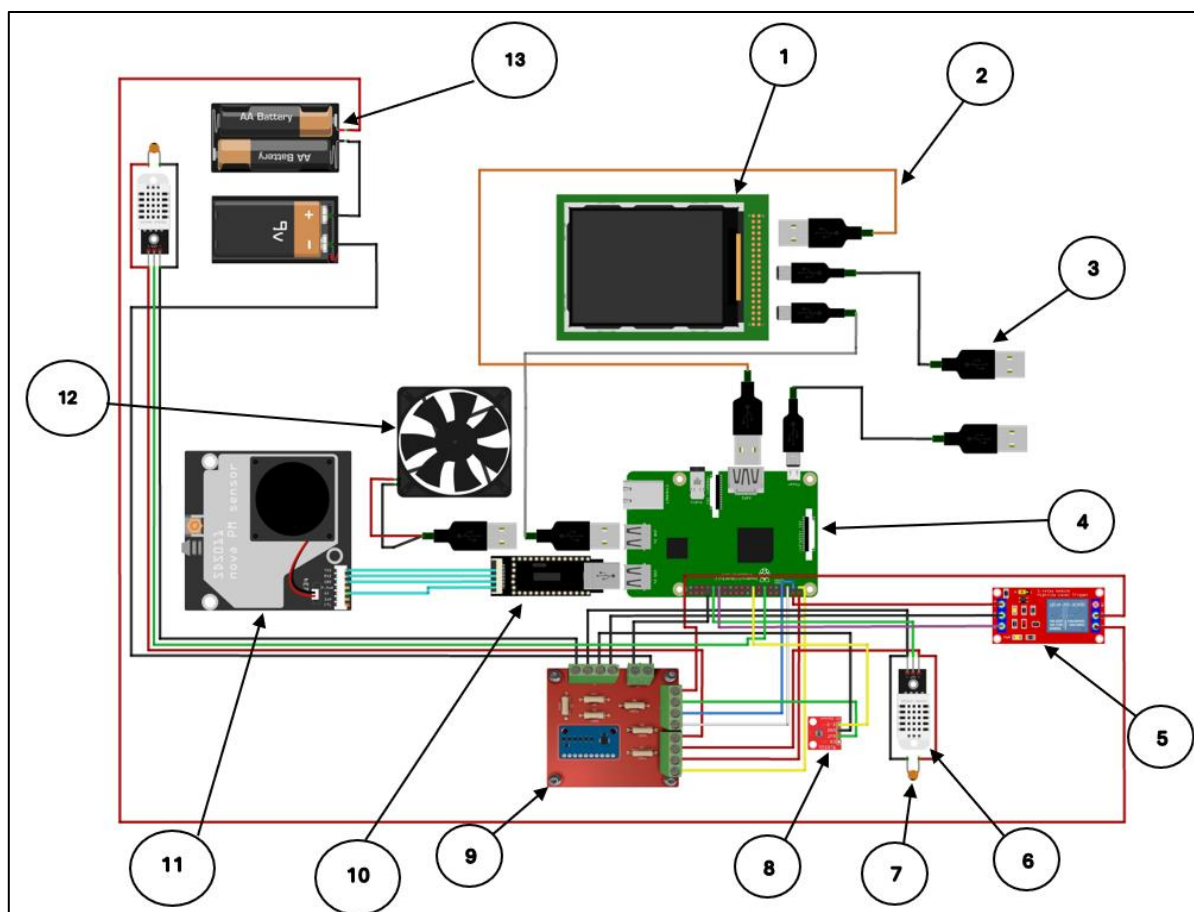


Fig. 4.13 Circuito de control.

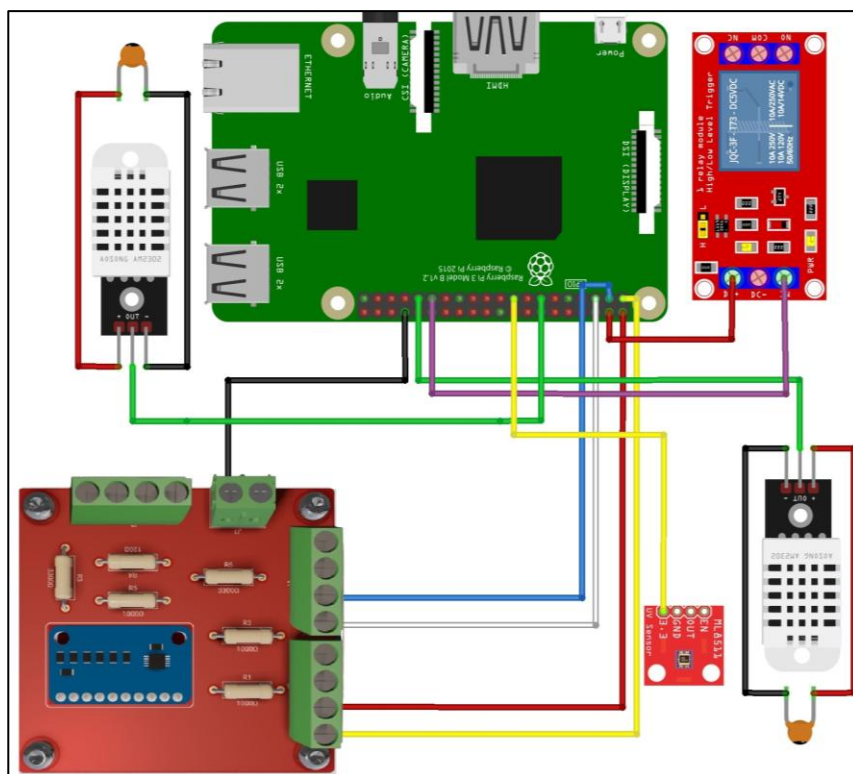


Fig. 4.14 Conexiones con Raspberry Pi.

- **Pantalla de 10,1" (1):** Pantalla de 10,1" con Transistor de Película Fina (TFT, por sus siglas en inglés) de 1280*800 pixeles.
- **Cable con conector mini HDMI en sus extremos (2):** Transmisor de señales de video de la Raspberry Pi a la pantalla.
- **Cable con conector USB tipo A y micro USB (3):** Cables de alimentación para la Raspberry Pi y la pantalla.
- **Raspberry Pi 3B (4):** Placa Raspberry Pi 3 Modelo B V1.2 que controla el sistema de lectura y envío de datos.
- **Módulo Relé (5):** Módulo de 5 V, 1 canal con un relé modelo SRD-05VDC-SL-C del relé y optoacoplador. Corta y permite el flujo de la corriente de la batería para detectar su nivel de carga a través de un divisor de voltaje.

- **Sensor DHT22 (6):** El primero obtiene las lecturas de humedad relativa y temperatura del ambiente, mientras que el segundo detecta la temperatura de la batería, por lo que va unido a esta.
- **Capacitor cerámico CL21 474J400V (7):** Capacitor de desacoplo de 0,47 μF que soporta una temperatura de 85 °C y que se usa como filtro para el ruido de la línea de alimentación de altas frecuencias. Se suelda en la parte trasera del sensor.
- **Sensor GY-ML8511 (8):** Sensor detector del índice de radiación UV.
- **Placa de Circuito Impreso (PCB) (9):** Placa diseñada que contiene las resistencias pull up, el circuito divisor de voltaje y el conversor ADC ADS1115. Su diseño, elementos y conexiones se observa en la sección 4.2.5.1.
- **Adaptador USB para el sensor SDS011 (10):** Adaptador que viene incluido con el sensor SDS011 y permite la comunicación del sensor con la Raspberry Pi 3B.
- **Sensor PM SDS011 (11):** Medidor de valores de PM_{2,5} y PM₁₀.
- **Ventilador (12):** Dispositivo que evita el sobrecalentamiento de la Raspberry Pi.
- **Batería de 12 V y 5 Ah recargable (13):** Elemento que provee energía al divisor de voltaje.

4.2.5.1. Placa de circuito impreso

El sistema electrónico incluye una PCB que ayuda a simplificar las conexiones y garantizar su estabilidad. El diseño y esquema eléctrico de la PCB se puede observar en las Fig. 4.15 y 4.16.

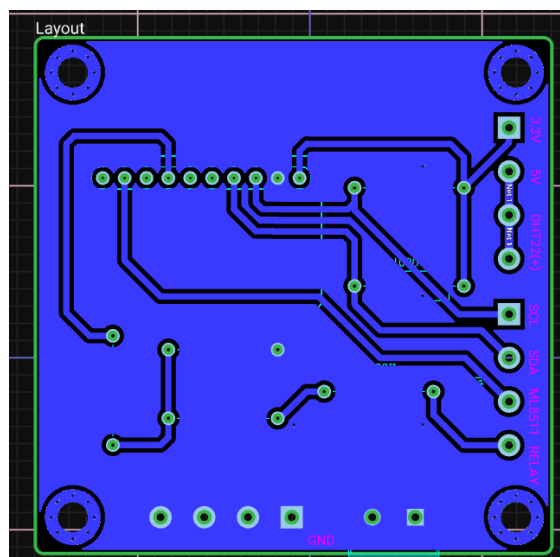


Fig. 4.15 Pistas de la capa inferior de la PCB.

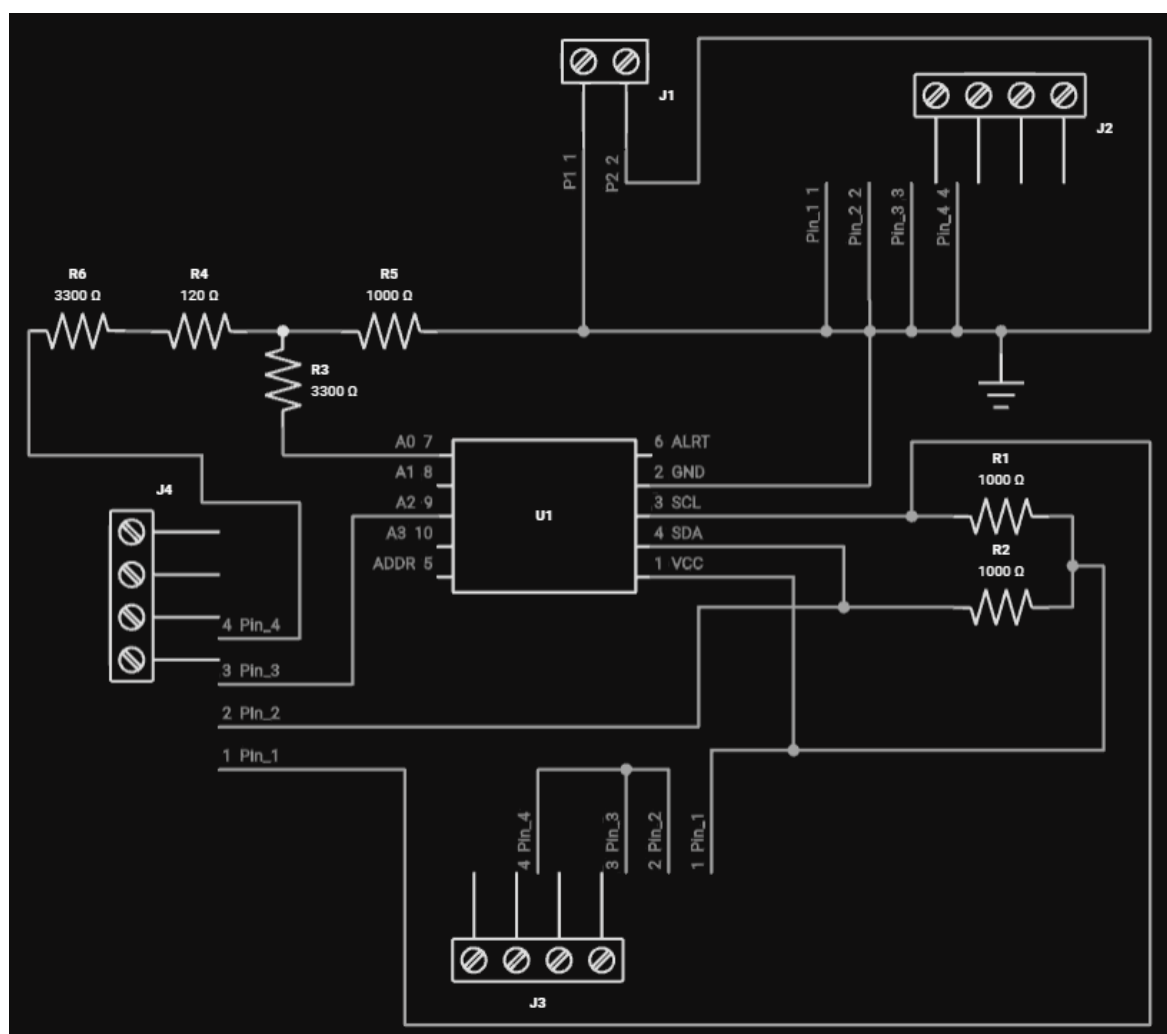


Fig. 4.16 Esquema eléctrico de la PCB.

4.2.6. Circuito completo

Al acoplar el circuito de control con el bloque de potencia se tiene el circuito completo de la Fig. 4.20, 4.21 y 4.22. Nótese que este circuito abarca los 4 bloques de la Fig. 4.1.

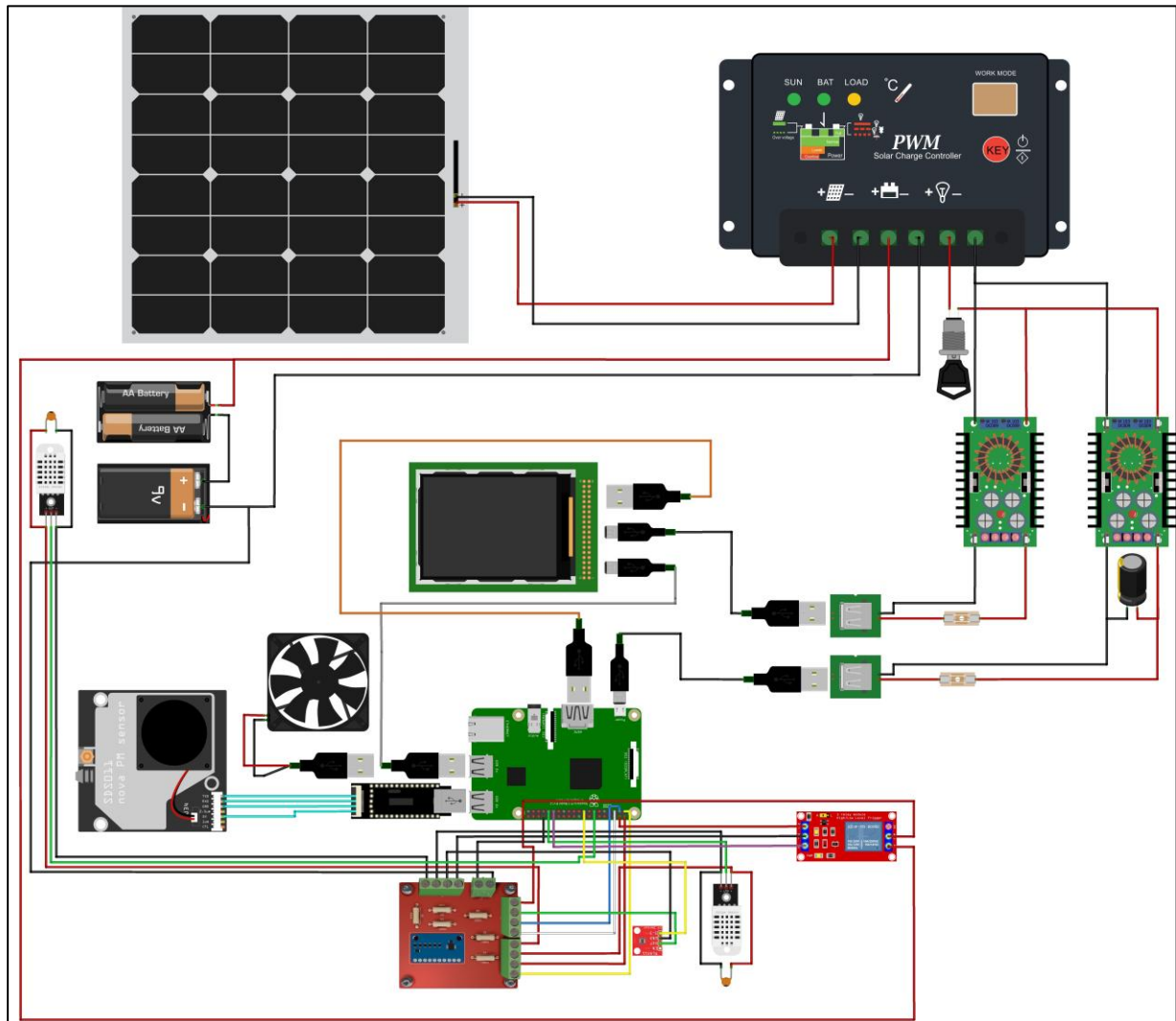


Fig. 4.20 Circuito del sistema.

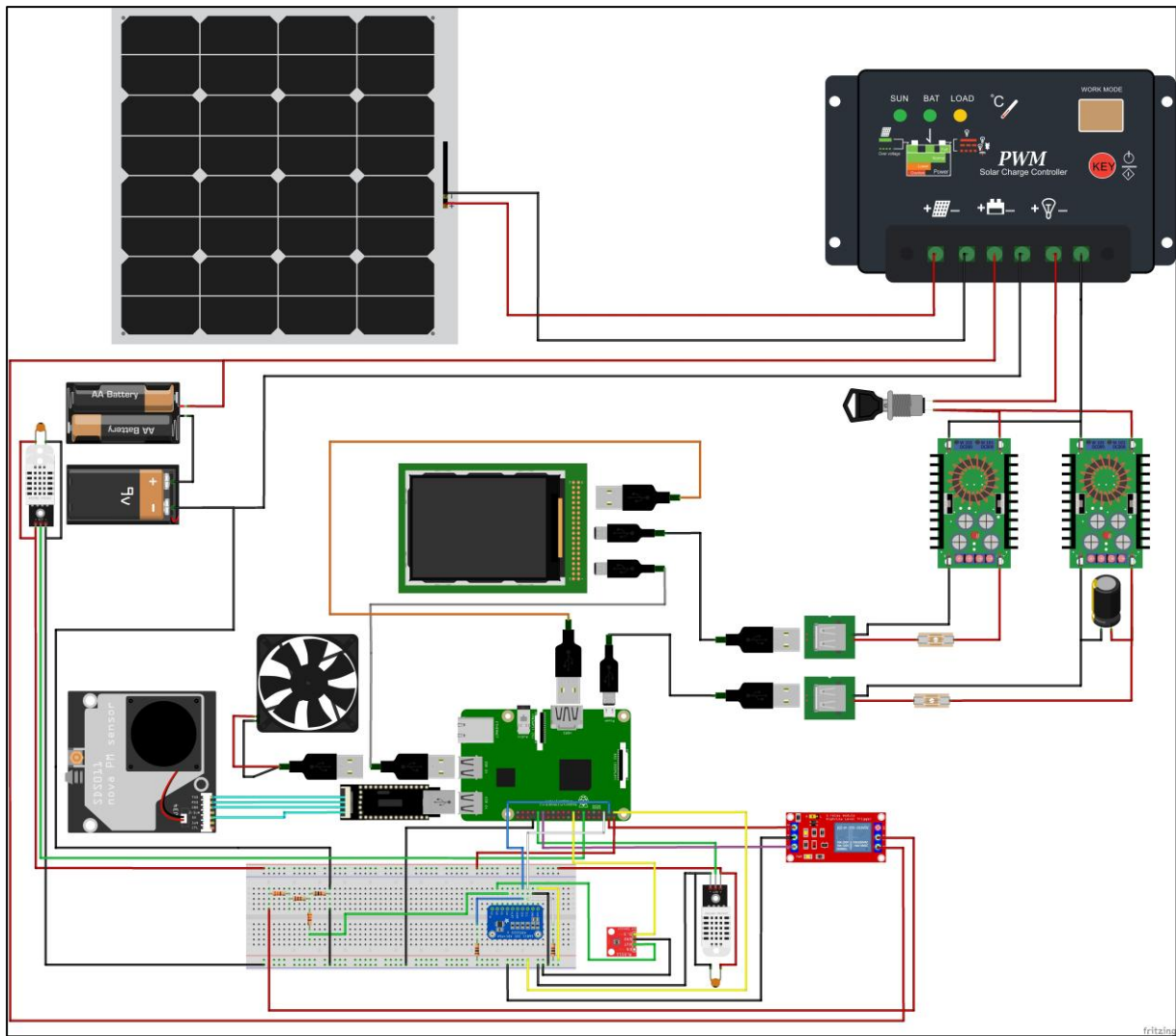


Fig. 4.21 Circuito del sistema con protoboard.

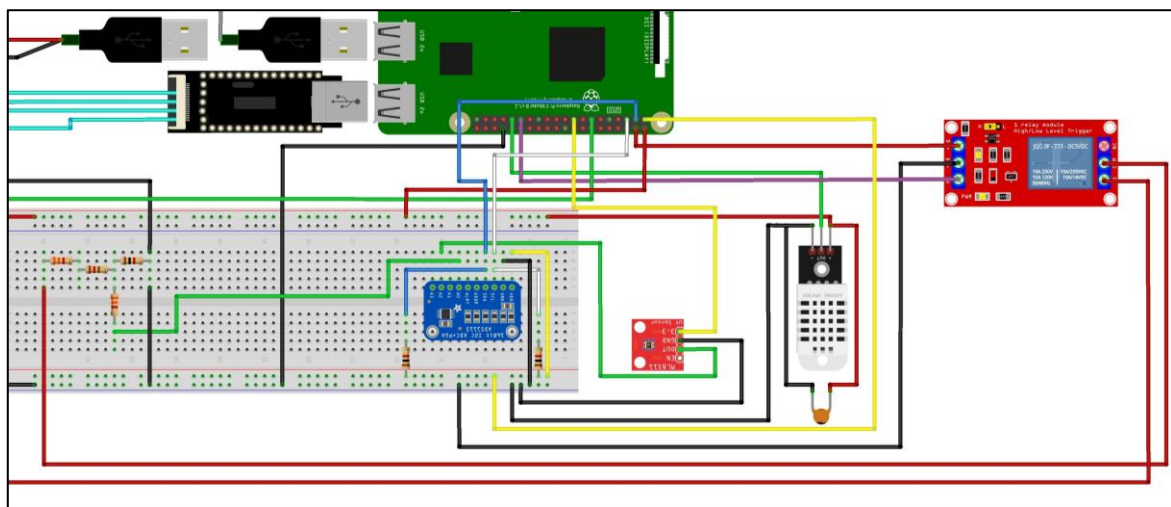


Fig. 4.22 Conexiones de la protoboard.

En las Fig. 4.20, 4.21 y 4.22, se puede identificar un patrón en los colores de las conexiones, el cual facilita la lectura del esquema. El código es el siguiente:

- **Rojo:** Conexiones a pines de 5 V y a terminales positivos de los componentes.
- **Negro:** Conexiones a tierra. También se usa para los conectores USB de alimentación de la Raspberry Pi y de la pantalla.
- **Gris:** Conector para el funcionamiento táctil de la pantalla.
- **Naranja:** Conector HDMI.
- **Cían:** Conexiones del Circuito Impreso Flexible (FPC).
- **Amarillo:** Conexiones de 3,3 V.
- **Verde:** Conexiones de pines de entrada de información a la placa.
- **Morado:** Conexiones de pines de salida de la placa.
- **Azul:** Conexiones SDA.
- **Blanco:** Conexiones SCL.

4.3. Programación

La programación del sistema se divide en dos partes: el software que gestiona la interfaz de usuario instalada en la pantalla del tótem, y el desarrollo de una Aplicación Web Progresiva (PWA) que permite la consulta de datos desde cualquier dispositivo con acceso a internet. Los códigos se pueden encontrar en los siguientes enlaces:

- <https://github.com/DavidIsraelVillarreal/Interfaz.git>
- <https://github.com/DavidIsraelVillarreal/Interfaz-PWA.git>

4.3.1. Interfaz gráfica desarrollada en Python

Esta parte del programa está desarrollada en lenguaje Python [62], utilizando la librería tkinter [61] por su simplicidad e integración nativa con entornos gráficos. Se ejecuta la configuración inicial y la conexión a la base de datos Firebase, para luego realizar la lectura periódica de los

sensores GY-ML8511, DHT22 y SDS011, a través de un hilo de lectura secundario que también actualiza la interfaz (Fig. 4.23).

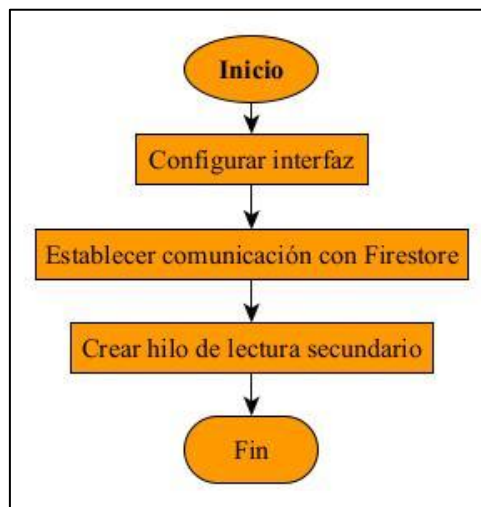


Fig. 4.23 Diagrama de flujo del programa principal.

- **Configurar interfaz**

Se crean y configuran la ventana principal (raíz), los marcos (frames) y los widgets, que incluyen etiquetas, imágenes y botones. Cada widget se ajusta en tamaño, posición, fuente y color, logrando una presentación clara y organizada.

- **Establecer comunicación con Firestore**

Se cargan las credenciales de autenticación de Firebase a través de un archivo JSON obteniendo un cliente de Firestore para enviar los datos.

- **Crear hilo de lectura secundario**

Uno de los aspectos más importantes del código es la creación de un hilo de lectura secundario, que permite ejecutar en paralelo una función continua llamada `lecturaSensores()`. Esta función obtiene los datos de los sensores GY-ML8511 (radiación UV), DHT22 (temperatura y humedad) y SDS011 (material particulado), actualiza la interfaz en pantalla y envía la información a Firestore sin bloquear la interacción con el usuario (Fig. 4.24).

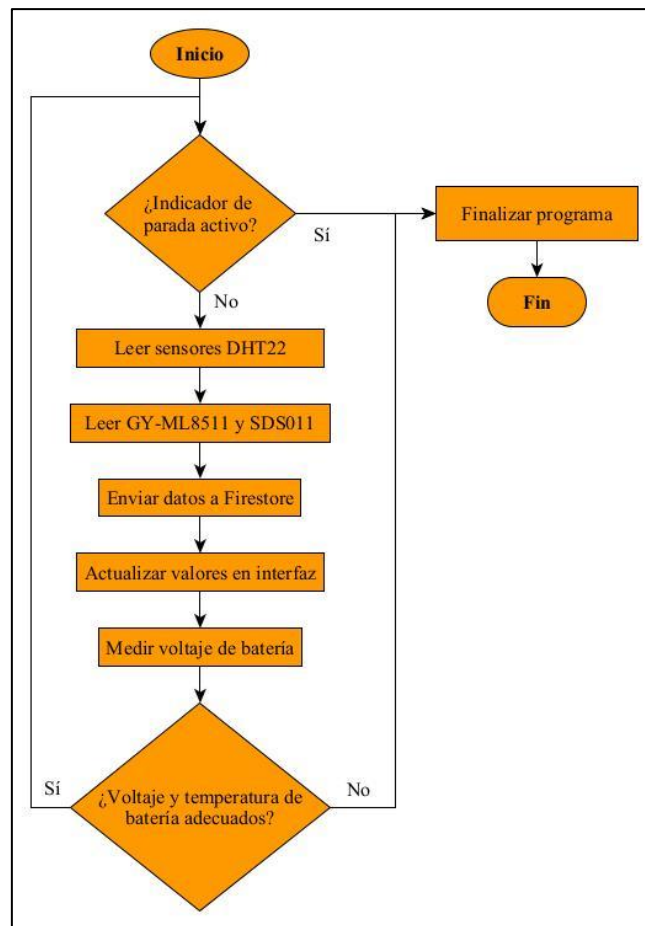


Fig. 4.24 Diagrama de flujo del hilo de lectura secundario (lecturaSensores()).

La interfaz se divide en 4 bloques, como se muestra en la Fig. 4.25. En el primero, los colores, valores y términos mostrados están fundamentados en la guía práctica del índice UV de la Organización Mundial de la Salud [29].

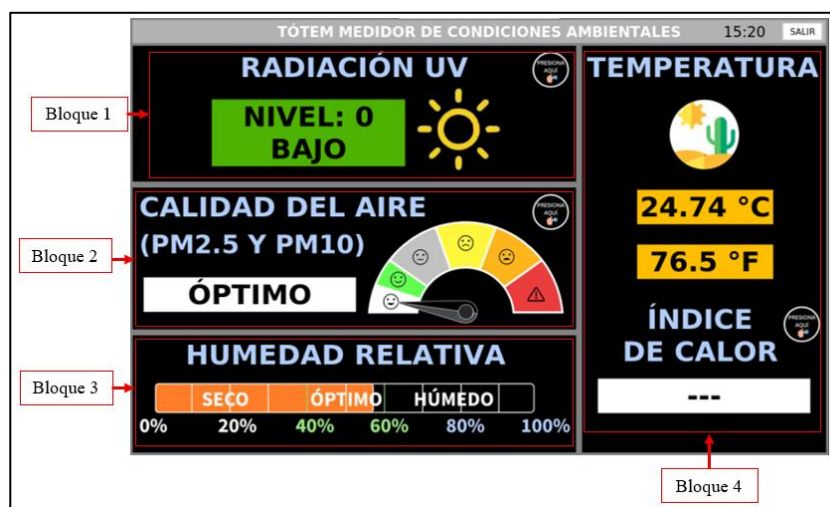


Fig. 4.25 Bloques de la interfaz gráfica del tótem.

En el segundo bloque, los íconos, colores y etiquetas varían acorde a los valores de PM10 y PM2,5. Se toma como referencia la guía del Índice Quiteño de Calidad del Aire [34].

En el tercer bloque, se muestra una barra de porcentaje que varía acorde a la cantidad de humedad relativa detectada. A diferencia de los anteriores bloques, los colores utilizados no se basan en alguna normativa específica, debido a que solo se busca informar sobre la medición detectada y no los riesgos que esta conlleva, ya que esto se muestra en la sección del índice de calor.

En la en la sección de Temperatura del cuarto bloque, al igual que con el tercero, los íconos y colores no se basan en ninguna guía o código establecido, sino que se usa la escala de color mostrada en la Fig. 4.26. Nótese que se establecieron 5 niveles de temperatura.

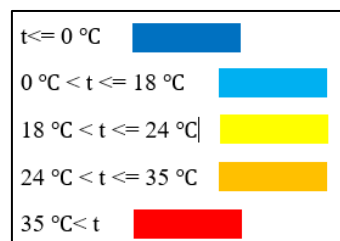


Fig. 4.26 Colores para los rangos de temperatura.

En la sección adicional de índice de calor, se adopta una escala del Servicio Meteorológico Nacional de EE. UU. (NWE) [63] ampliada con el rango “Mortal” propuesto en [64], representado con color negro para valores superiores o iguales a 93 (Fig. 4.27).

ADVERTENCIA	ÍNDICE DE CALOR	IMPACTO EN SALUD
Seguro	< 26	No se esperan efectos adversos debidos al calor.
Precaución	27- 32	Fatiga posible con exposición prolongada a y/o actividad física.
Precaución extrema	33 – 40	Posible golpe de calor, calambres o agotamiento por calor con exposición prolongada y/o actividad física.
Peligro	41 – 51	Calambres o agotamiento por calor probables y golpe de calor posible con exposición prolongada y/o actividad física.
Peligro extremo	52 – 92	Golpe de calor altamente probable.
Mortal	>93	Valores más allá de la resistencia humana al calor.

Fig. 4.27 Términos y colores usados para el índice de calor.

El sistema también incorpora procesos de control para la finalización automática del programa basados en 2 parámetros de la batería: voltaje y temperatura. Si se detecta una temperatura superior a 42 °C o un voltaje de batería menor a 11 V, el programa se detiene automáticamente y procede a apagar la placa, para evitar daños a los componentes.

Por otro lado, si se desea salir manualmente del programa, el usuario debe presionar el botón “Salir” ubicado en la esquina superior derecha de la interfaz. Esto abre una ventana emergente que solicita una clave de acceso. Si la contraseña ingresada es correcta, el sistema cierra la interfaz, caso contrario se pide al usuario que intente nuevamente.

4.3.2. Aplicación Web Progresiva (PWA)

La PWA está diseñada para permitir al usuario consultar los datos desde un dispositivo móvil. Está desarrollada utilizando el framework Flutter [65]. El diagrama de flujo de esta parte del programa se observa en la Fig. 4.28.

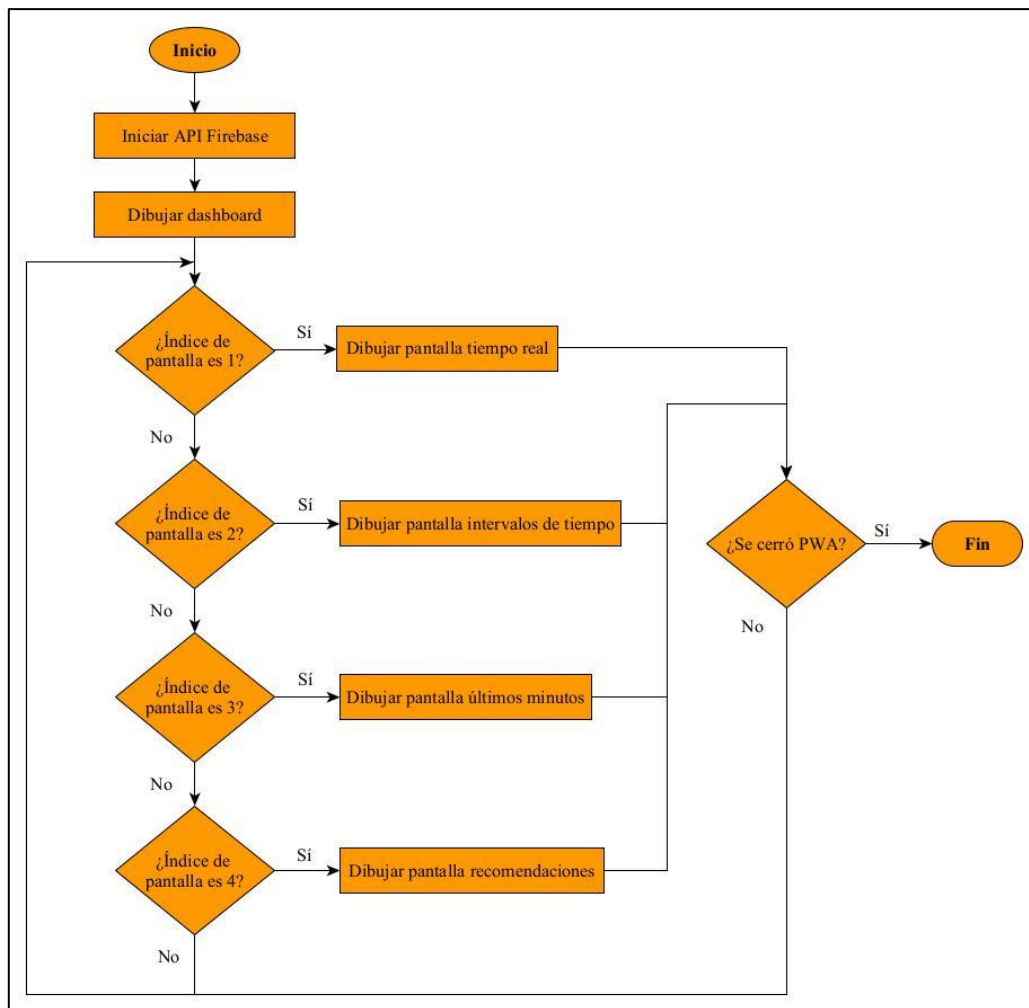


Fig. 4.28 Diagrama de flujo de la PWA.

En la parte frontal del tótem se incluye un código QR, que al escanear lleva al usuario automáticamente a la interfaz web, creando y configurando inicialmente el cuadro de mando, el cual contiene el título y los íconos que permiten al usuario cambiar el índice de pantalla.

Cada sección generada, dependiendo del índice seleccionado, se actualiza automáticamente con los datos disponibles en Firestore. Esto se realiza sin necesidad de recargar la página, a excepción de las gráficas de los índices “últimos minutos” e “intervalos”.

La franja horaria para el envío de datos a la nube es desde las 10h00 hasta las 14h00. Esto permite que la lectura y escritura de datos en Firebase no sobrepase los valores máximos

permitidos en el servicio gratuito y abarca perfectamente los periodos de mayor irradiancia solar durante el día.

4.4. Estructura mecánica

El diseño propuesto se representa mediante vistas isométricas y explosionadas del tótem, las cuales se pueden observar en las Fig. 4.29, 4.30, 4.31 y 4.32. En las Tablas 4.1, 4.2 y 4,3 se detallan cada uno de los componentes utilizados en los subensamblajes y en el ensamblaje general.

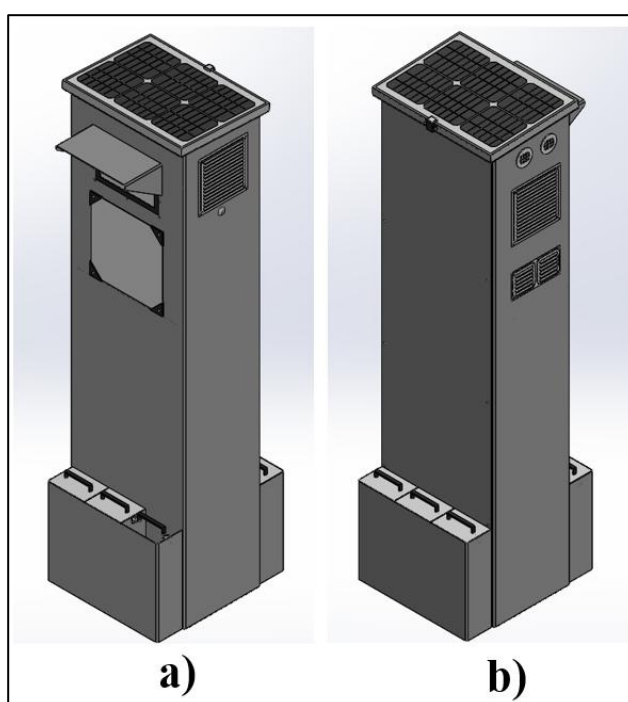


Fig. 4.29 Vistas isométricas de la propuesta de solución. a) Vista isométrica anterior, b) Vista isométrica posterior.

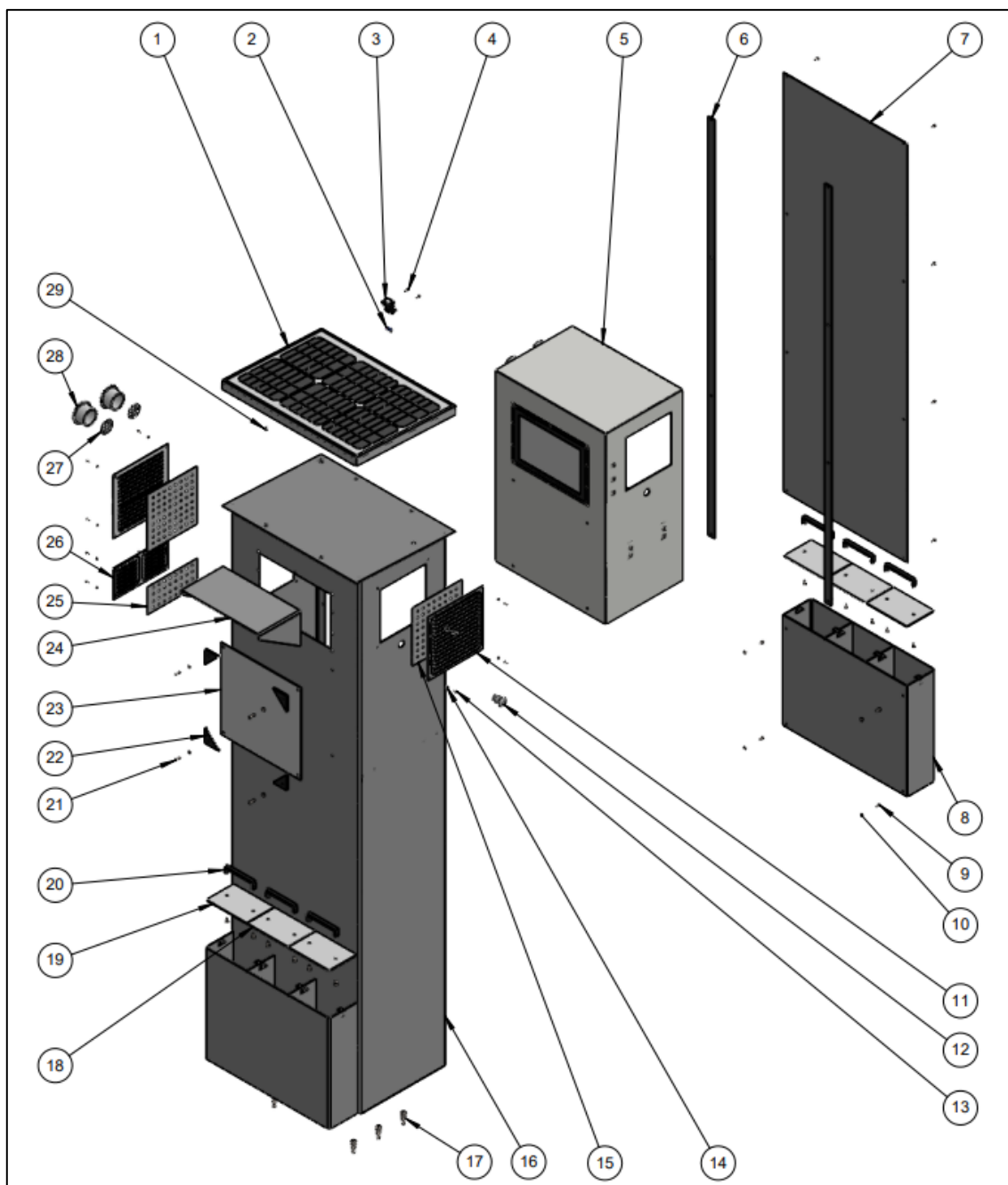


Fig. 4.30 Vista explosionada del ensamble general tótem medidor de condiciones ambientales.

Tabla 4.1 Componentes del ensamble general “Tótem Medidor de Condiciones Ambientales” (Fig. 4. 30).

Nº de elemento	Descripción	Cantidad
1	Panel solar	1
2	Sensor GY-ML8511	1
3	Cubierta de protección del sensor UV	1
4	Tornillo autoperforante M3 x 12 mm tipo estrella	2
5	Conjunto de envolvente	1
6	Empaque N65	2
7	Plancha trasera	1
8	Macetero trasero	1
9	Perno cabeza de botón M4 x10 mm	24
10	Tuerca autoblocante M4	8
11	Rejilla de ventilación grande	2
12	Interruptor de llave	1
13	Perno cabeza de botón M3 x 10 mm	12
14	Tuerca autoblocante M3	12
15	Malla mosquitera grande	2
16	Estructura	1
17	Perno expansivo de 3/8” x 2”	6
18	Tapa 2 de macetero	2
19	Tapa 1 de macetero	4
20	Jaladera	6
21	Perno cabeza de botón M4 x 16 mm	4
22	Esquina de soporte	4
23	Placa informativa	1
24	Cubierta solar para pantalla	1
25	Malla mosquitera pequeña	1
26	Rejilla de ventilación pequeña	1
27	Malla mosquitera circular	2
28	Rejilla para codo	2
29	Remache M5 x 8 mm con cabeza redonda	4

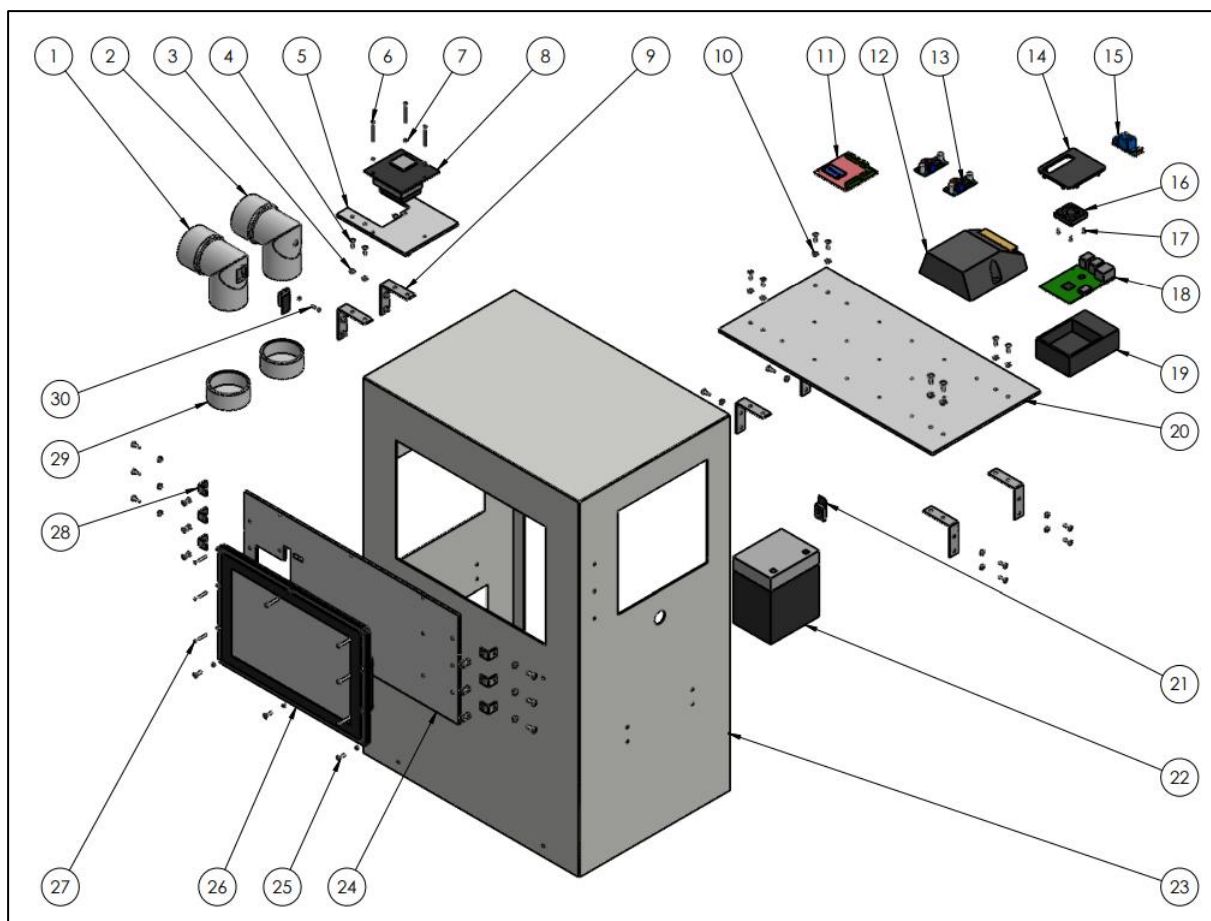


Fig. 4.31 Vista explosionada del subensamble conjunto envolvente.

Tabla 4.2 Componentes del subensamble “Conjunto Envolvente” (Fig. 4.31).

Nº de elemento	Descripción	Cantidad
1	Codo modificado 2	1
2	Codo modificado 1	1
3	Tuerca M4	4
4	Perno M4 x 10 mm tipo estrella	36
5	Plancha de soporte interna 2	1
6	Perno M3 x 30 mm tipo estrella	3
7	Tuerca M3	14
8	Sensor PM SDS011	1
9	Ángulo grande	6
10	Tuerca autoblocante M4	32
11	PCB	1
12	Controlador de carga solar	1
13	Regulador de voltaje XL4015E1	1
14	Tapa de estuche para Raspberry Pi	1
15	Módulo relé de 5 V	1
16	Ventilador para Raspberry Pi	1
17	Tornillos autoperforantes M2 x 5 mm	4
18	Raspberry PI 3B	1
19	Estuche de Raspberry Pi	1
20	Plancha de soporte interna 1	1
21	Sensor DHT22	2
22	Batería recargable de 12 V y 5 Ah	1
23	Envolvente	1
24	Plancha de soporte para pantalla	1
25	Perno M3 x 10 mm tipo estrella	3
26	Pantalla de 10,1"	1
27	Perno M3 x 20 mm tipo estrella	7
28	Ángulo pequeño	6
29	Tapón	2
30	Perno M3 x 8mm tipo estrella	1

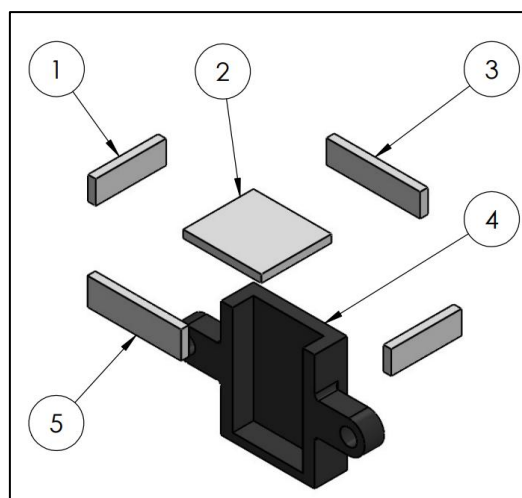


Fig. 4.32 Vista explosionada del subensamble cubierta de protección del sensor UV.

Tabla 4.3 Componentes del subensamble “Cubierta de protección del sensor UV” (Fig. 4.32).

Nº de elemento	Descripción	Cantidad
1	Pared lateral cubierta sensor UV	2
2	Tapa cubierta sensor UV	1
3	Pared trasera cubierta sensor UV	1
4	Carcasa de protección	1
5	Pared frontal cubierta sensor UV	1

La pantalla frontal del tótem muestra los datos ambientales mediante una interfaz gráfica amigable, como se observa en la Fig. 4.33.

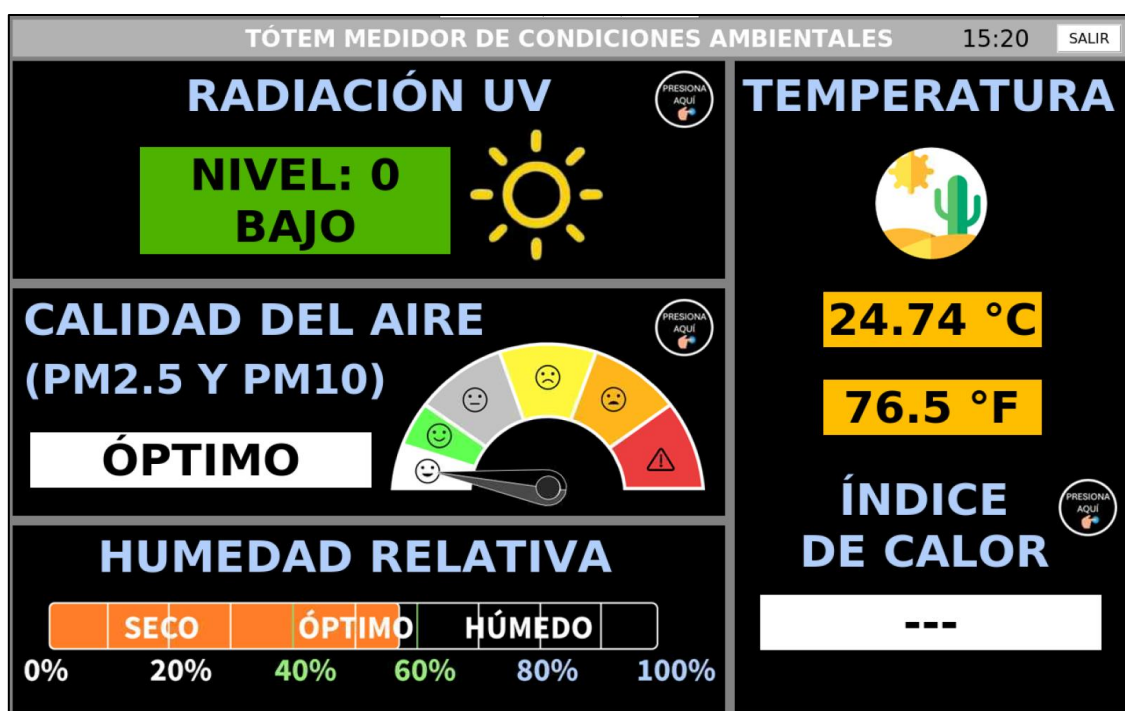


Fig. 4.33 Interfaz de pantalla del tótem.

El sistema recolecta información sobre la radiación UV, temperatura, humedad relativa y partículas PM2,5 y PM10 a través de sus respectivos sensores. Estos datos se procesan mediante el programa desarrollado en Python e instalado en la Raspberry Pi 3B para posteriormente mostrarlos en la pantalla del tótem.

La entrada del aire se produce por medio de los codos de PVC con sus respectivas rejillas y mallas mosquiteras. Estas piezas permiten la circulación sin comprometer la integridad del sistema. Además, protegen los sensores de insectos o partículas grandes.

La alimentación eléctrica se realiza mediante un panel solar conectado a una batería. Se utiliza un controlador de carga solar y un interruptor de llave, que permite encender o apagar el sistema de forma segura.

4.5. Descripción del sistema mecánico

La solución se compone de varios subensambles. Cada uno contiene diversos elementos, piezas y componentes con funciones definidas que en conjunto permiten tener un prototipo que cumpla los objetivos establecidos. A continuación, se describen los diversos elementos que forman parte del sistema, acorde con el ensamble al que pertenecen.

4.5.1. *Ensamble general tótem medidor de condiciones ambientales*

Este ensamble incluye:

- **Panel solar (1):** Corresponde al panel solar de 18 V (voltaje de máxima potencia) y 20 W de la Fig. 4.4. Se fija a la estructura del tótem mediante remaches M5.
- **Sensor GY-ML8511 (2):** Sensor que detecta radiación UV-A y UV-B.
- **Cubierta de protección del sensor UV (3):** Corresponde al subensamble fabricado con acrílico transparente de 2 mm. Protege el sensor de radiación UV sin impedir la lectura de radiación solar. Como se ve en la Fig. 4.34, se fija al panel mediante dos pernos autoperforantes M3.

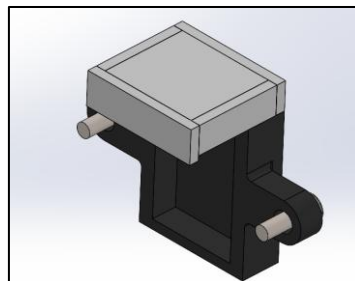


Fig. 4.34 Diseño de cubierta de protección del sensor UV.

- **Tornillo autoperforante M3 x 12 mm tipo estrella (4):** Se utilizan para acoplar la cubierta del sensor UV al panel solar. Se descartan pernos con tuercas por falta de espacio en el panel. El modelo de perno usado se visualiza en la Fig. 4.35.



Fig. 4.35 Tornillo autoperforante M3 x 12 mm tipo estrella [66].

- **Conjunto envolvente (5):** Subensamble compuesto por una envolvente IP65 de dimensiones $40 \times 60 \times 30$ cm, que protege los componentes electrónicos. Sus vistas isométricas se observan en la Fig. 4.36.

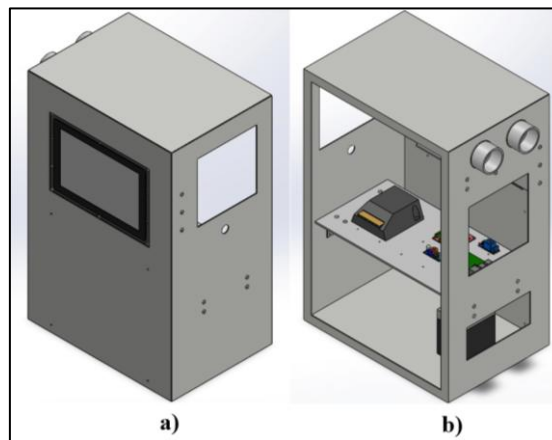


Fig. 4.36 Vistas isométricas del “Conjunto envolvente”. a) Vista isométrica anterior, b) Vista isométrica posterior.

- **Empaque N65 (6):** Empaque de caucho número 65 (Fig. 4.37) utilizado para sellar la unión entre la plancha trasera y la envolvente, evitando el ingreso de agua. Presenta 4 agujeros para ingresar los pernos en el ensamble.



Fig. 4.37 Empaque N65.

- **Plancha trasera (7):** Lámina metálica removible de 131,49 x 449 x 0,2 cm, que permite el acceso al interior de la envolvente para realizar mantenimiento. Se fabrica por corte láser y se fija con ocho pernos. Su diseño se puede ver en la Fig. 4.38.

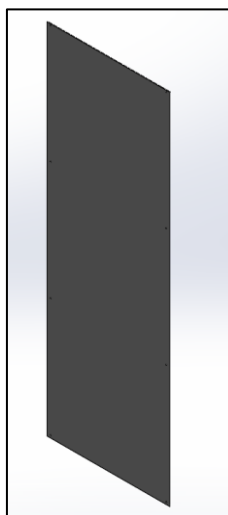


Fig. 4.38 Diseño de "Plancha trasera".

- **Macetero trasero (8):** Subensamble que aporta estabilidad al tótem y mejora su apariencia exterior. Está formado por varias piezas detalladas en los planos del Anexo B. El diseño del macetero se puede ver en la Fig. 4.39.

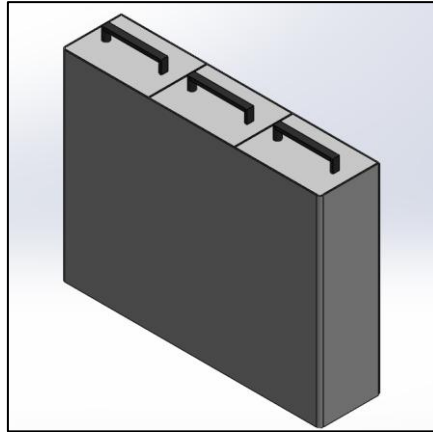


Fig. 4.39 Diseño de “Macetero Trasero”.

- **Perno cabeza de botón M4 x 10 mm (9):** Se utilizan por razones estéticas y de seguridad, ya que requieren herramientas específicas para ser removidos. El modelo se puede ver en la Fig. 4.40.



Fig. 4.40 Perno cabeza de botón [67].

- **Tuerca autoblocante M4 (10):** Se selecciona este modelo debido a que aseguran una fijación resistente frente a vibraciones (Fig. 4.41).



Fig. 4.41 Tuerca autoblocante [68].

- **Rejilla de ventilación grande (11):** Permiten la circulación de aire para controlar la temperatura interna del sistema. Se combinan con mallas mosquiteras para bloquear el

ingreso de insectos. Sus dimensiones son 20 x 20 cm y presenta 4 agujeros para pernos M3, como se visualiza en la Fig. 4.42.



Fig. 4.42 Rejilla de ventilación grande [69].

- **Interruptor de llave (12):** Interruptor de bloqueo de llave.
- **Perno cabeza de botón M3 x 10 mm (13):** Las razones de selección de estos pernos son las mismas indicadas para la pieza 9.
- **Tuerca autoblocante M3 (14):** La razón de elección de este elemento es la misma que la de la pieza 10.
- **Malla mosquitera grande (15):** Malla plástica que se adhiere a las rejillas para impedir que el ingreso de insectos en las rejillas de ventilación grandes, como se visualiza en la Fig. 4.43. Se selecciona este elemento porque se encuentra en el mercado ecuatoriano de forma sencilla, presenta aperturas finas y es económica. Sus dimensiones son de 18,3 x 18,3 cm.

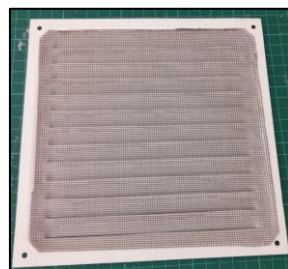


Fig. 4.43 Malla mosquitera grande pegada a la rejilla de ventilación grande.

- **Estructura (16):** Subensamble fabricado mediante soldadura de piezas metálicas obtenidas por corte láser y procesos de doblé. Incluye ángulos comerciales para unir los elementos internos. El subensamble se puede ver en la Fig. 4.44.

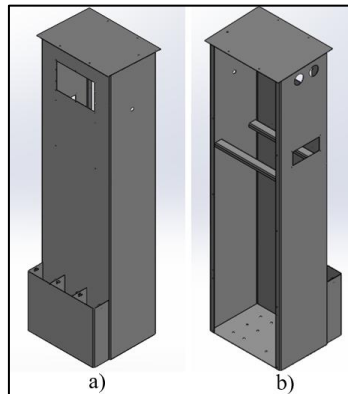


Fig. 4.44 Subensamble “Estructura” realizado con soldadura. a) Vista isométrica b) Vista opuesta.

- **Perno expansivo de 3/8” x 2” (17):** Elemento de sujeción que se utiliza para fijar el tótem al suelo de forma segura, proporcionando estabilidad. Son de fácil instalación y manejan una capacidad de carga relativamente elevada. El elemento se puede observar en la Fig. 4.45.



Fig. 4.45 Perno expansivo de 3/8” x 2” [70].

- **Tapa 2 de macetero (18):** Piezas de acrílico blanco que cierran los compartimientos del macetero (Fig. 4.46). Evitan el ingreso de animales u objetos. Sus dimensiones son de 14,31 x 10 x 0,3 cm y presenta 2 perforaciones para pernos M4. Se puede obtener por medio de corte láser.

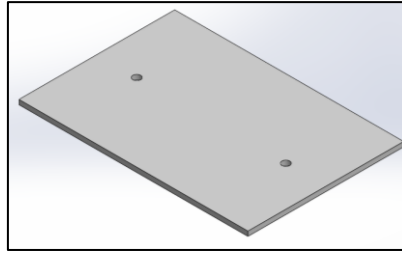


Fig. 4.46 Diseño de tapa 2 de macetero.

- **Tapa 1 de macetero (19):** Presenta la misma función que la pieza 18. Sus dimensiones son de 14,31 x 10 x 0,3 cm, posee 2 perforaciones para pernos M4 y tiene un redondeo de 3,9 mm, como se observa en la Fig. 4.47.

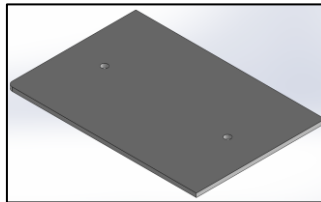


Fig. 4.47 Diseño de tapa 1 de macetero.

- **Jaladera (20):** Corresponde a la jaladera tubular niquelada de la Fig. 4.48, la cual se selecciona debido a su tamaño compacto (largo de 10,4 cm aproximadamente) y atractivo visual.



Fig. 4.48 Jaladera tubular niquelada.

- **Perno cabeza de botón M4 x 16 mm (21):** Se utiliza en conjunto con las jaladeras para fijarlas a las tapas.
- **Esquina de soporte (22):** Corresponde a la pieza de la Fig. 4.49 impresa en 3D con material PETG. Es resistente a la intemperie y presenta una función decorativa.

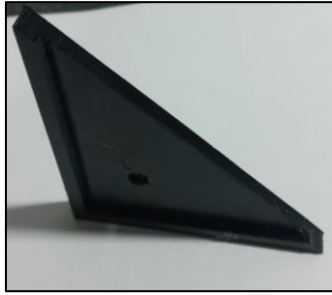


Fig. 4.49 Esquina de soporte.

- **Placa informativa (23):** Placa de acrílico transparente de 2 mm de espesor con un código QR (Fig. 4.50). Este redirige a la aplicación web donde se pueden visualizar los datos. Sus dimensiones son de 29 x 29 cm y presenta 4 agujeros para pernos M4.



Fig. 4.50 Placa informativa con esquinas de soporte y pegatina.

- **Cubierta solar para pantalla (24):** Pieza impresa en 3D que protege la pantalla de la lluvia y la radiación solar directa (Fig. 4.51).

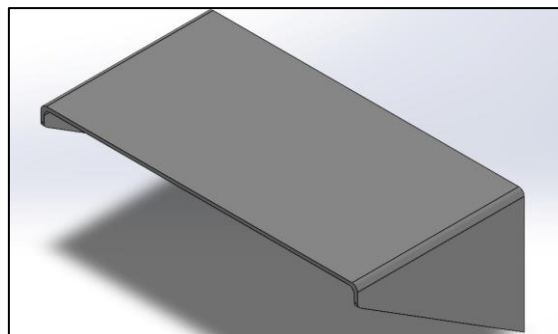


Fig. 4.51 Diseño de cubierta solar para pantalla.

- **Malla mosquitera pequeña (25):** Misma malla de la pieza 15 con dimensiones de 18,3 x 8,8 cm.
- **Rejilla de ventilación pequeña (26):** Rejilla con dimensiones de 20 x 10 cm. Presenta 4 agujeros para pernos M3, como se muestra en la Fig. 4.52.



Fig. 4.52 Rejilla de ventilación pequeña [71].

- **Malla mosquitera circular (27):** Malla circular de 42 mm de diámetro (Fig. 4.53).

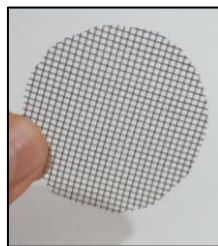


Fig. 4.53 Malla fina de plástico (mosquitera).

- **Rejilla para codo (28):** Acople de rejilla para codos de PVC de 50 mm (Fig. 4.54).



Fig. 4.54 Rejilla para codo [72].

- **Remache M5 x 8 mm con cabeza redonda (29):** Se utilizan para fijar el panel solar. Se eligen en lugar de pernos para evitar manipulaciones externas no autorizadas. La pieza se puede visualizar en la Fig. 4.55.



Fig. 4.55 Remaches M5 [73].

4.5.2. Subensamble conjunto envolvente

Este subensamble contiene piezas, elementos y componentes para la captura de datos y el procesamiento de la información:

- **Codo modificado 2 (1):** Codo de PVC modificado para alojar el sensor DHT22. Presenta una perforación de 3 mm que facilita el paso del perno de fijación, como se muestra en la Fig. 4.56.



Fig. 4.56 Codo modificado 2.

- **Codo modificado 1 (2):** Codo de PVC con una perforación de 10 mm, diseñada para insertar la boquilla del sensor de calidad del aire (Fig. 4.57).



Fig. 4.57 Codo modificado 1.

- **Tuerca M4 (3):** Tuerca hexagonal para pernos M4 (Fig. 4.58).



Fig. 4.58 Tuerca M4 hexagonal [74].

- **Perno M4 x 10 mm tipo estrella (4):** Estos tornillos se eligen por su facilidad de manipulación y se emplean en uniones internas, no visibles al usuario (Fig. 4.59).



Fig. 4.59 Perno M4 x 10 mm tipo estrella [75].

- **Plancha de soporte interna 2 (5):** Placa de acrílico blanco de la Fig. 4.60 de 3 mm de espesor, obtenido con corte laser. Sirve como base para el sensor de calidad del aire. Tiene orificios compatibles con pernos M3 y M4 y dimensiones de 12,7 x 9,9 cm.

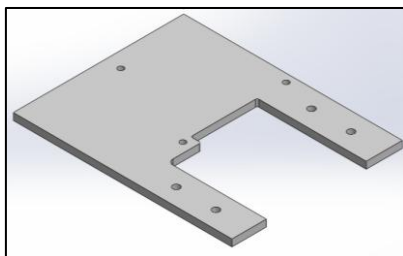


Fig. 4.60 Diseño de plancha de soporte interno 2.

- **Perno M3 x 30 mm tipo estrella (6):** Se seleccionan por las mismas razones expuestas en la pieza 4.
- **Tuerca M3 (7):** Corresponde a una tuerca hexagonal para pernos M3.
- **Sensor PM SDS011 (8):** Sensor de calidad del aire.
- **Ángulo grande (9):** Abrazaderas metálicas de 2" con perforaciones de la Fig. 4.61, utilizadas para unir piezas estructurales y mantener la rigidez del conjunto.



Fig. 4.61 Abrazaderas para esquinas de 2" [76].

- **Tuerca autoblocante M4 (10):** Se emplean para asegurar los pernos frente a vibraciones.
- **PCB (11):** Placa de circuito impreso de 60 x 60 mm que incorpora resistencias y el conversor ADC ADS1115.
- **Controlador de carga solar (12):** Controlador de carga solar modelo YJSS/20A que soporta una corriente de salida de hasta 10 A.
- **Regulador de voltaje XL4015E1 (13):** Módulo convertidor de voltaje DC-DC step-down de 5 A.
- **Tapa de estuche para Raspberry Pi (14):** Tapa del estuche de Raspberry Pi, en la cual se monta el ventilador. Se mecaniza para permitir la conexión a los pines GPIO, como se observa en la Fig. 4.62.

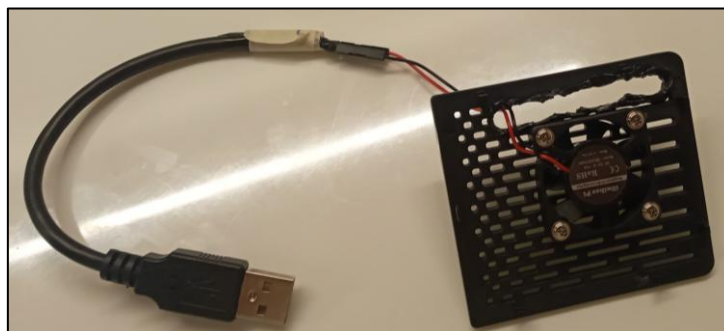


Fig. 4.62 Tapa protectora para Raspberry Pi mecanizada.

- **Módulo relé de 5 V (15):** Módulo de 5 V que permite o bloquea el flujo de corriente de la batería.

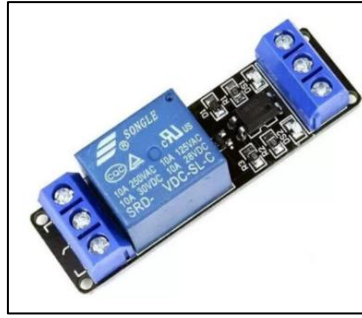


Fig. 4.63 Módulo Relé de 5 V y 1 canal con optoacoplador [77].

- **Ventilador para Raspberry Pi (16):** Dispositivo de 5 V que disipa el calor generado por la Raspberry Pi. Se incluye dentro del estuche de la Raspberry Pi.
- **Tornillos autoperforantes M2 x 5 mm (17):** Tornillos que se incluyen con el estuche y sirven para fijar el ventilador.
- **Raspberry Pi 3B (18):** Placa principal del sistema (Fig. 4.43). Ejecuta el software que gestiona la interfaz, la lectura de sensores y la conexión con Firebase. Se selecciona por su conectividad Wi-Fi, salida de video integrada y menor costo frente a modelos superiores.
- **Estuche para Raspberry Pi (19):** Estuche protector para Raspberry PI 3B que facilita el montaje del ventilador [78]. Se puede ver en la Fig. 4.64.



Fig. 4.64 Raspberry Pi instalada en el estuche.

- **Plancha de soporte interna 1 (20):** Pieza de acrílico blanco con múltiples orificios para ventilación y fijación. Mide 39,6 x 20 cm y se puede obtener a través de corte laser. El diseño se visualiza en la Fig. 4.65.

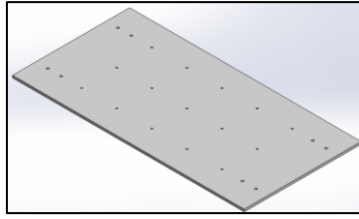


Fig. 4.65 Diseño de plancha de soporte interna 1.

- **Sensor DHT22 (21):** Sensores de temperatura y humedad relativa. El primero se instala dentro del codo modificado 2 y se fija mediante un perno M3, mientras que el otro se coloca pegado a la batería.
- **Batería recargable de 12 V y 5 Ah (22):** Batería que alimenta el sistema.
- **Envolvente (23):** Envolvente IP65 que protege varios componentes del sistema. Resiste condiciones adversas como polvo, humedad y radiación. Requiere mecanizado previo para perforaciones y adaptaciones, como se observa en la Fig. 4.66. Sus dimensiones son de 40x60x30 cm.

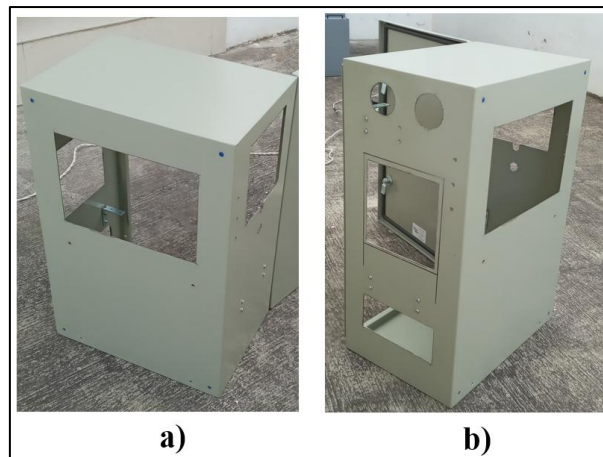


Fig. 4.66 Envolvente maquinada. a) Vista 1, b) Vista 2.

- **Plancha soporte para pantalla (24):** Plancha de acrílico blanco de 39,6 x 17,4 cm y 3 mm de espesor que soporta la pantalla frontal (Fig. 4.67).

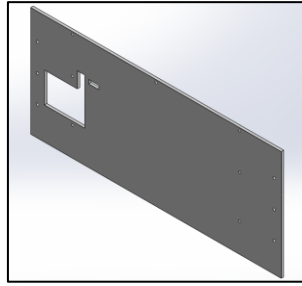


Fig. 4.67 Diseño de plancha de soporte de pantalla.

- **Perno M3 x 10 mm tipo estrella (25):** Son pernos de plástico que vienen incluidos con la pantalla y sirven para fijarla de forma segura.
- **Pantalla de 10,1" (26):** Pantalla táctil LCD con dimensiones de 274,11 x 187 mm.
- **Perno M3 x 20 mm tipo estrella (27):** Son pernos de plástico que vienen incluidos con la pantalla y sirven para fijarla de forma segura.
- **Ángulo pequeño (28):** Elemento comercial de 16 x 12 x 2 mm con perforaciones para pernos M4 (Fig. 4.68).



Fig. 4.68 Ángulo de 16 mm instalado en envoltente.

- **Tapón (29):** Tapón que se acopla al codo de 50mm y 90° (Fig. 4.69).



Fig. 4.69 Tapón [79].

- **Perno M3 x 8 mm tipo estrella (30):** Fija el sensor DHT22 al codo modificado 2. Se selecciona por su compatibilidad con el diseño.

4.5.3. *Subensamble cubierta de protección del sensor UV*

Este subensamble se compone de 5 piezas:

- **Pared lateral cubierta sensor UV (1):** Pieza de acrílico transparente de 2 mm de espesor que permite el paso de los rayos UV sin interferencia. Sus dimensiones son de 1,8 x 0,6 cm, como se visualiza en la Fig. 4.70.

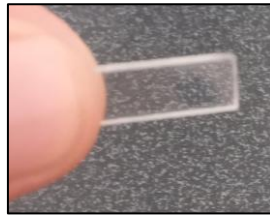


Fig. 4.70 Pared lateral cubierta sensor UV.

- **Tapa cubierta sensor UV (2):** Pieza de 2 mm de espesor obtenida con corte láser. Al igual que el resto de las piezas de acrílico del subensamble, permite la penetración de los rayos UV para la detección del sensor GY-ML8511 garantizando su protección. Sus dimensiones son de 2 x 1,8 cm (Fig. 4.71).



Fig. 4.71 Tapa cubierta sensor UV.

- **Pared trasera cubierta sensor UV (3):** Sus dimensiones son de 2,4 x 0,6 x 0,2 cm (Fig. 4.72).



Fig. 4.72 Pared trasera cubierta sensor UV.

- **Carcasa de protección (4):** Impresa en 3D con PETG. Cubre las conexiones del sensor GY-ML8511. Se impermeabiliza con resina epóxica para asegurar durabilidad en exteriores. Sus dimensiones son de 4,97 x 2,98 x 0,83 cm y tiene 2 agujeros para pernos M3, como se observa en la Fig. 4.73.

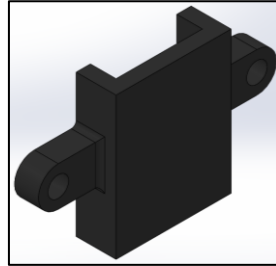


Fig. 4.73 Vista isométrica de la carcasa de protección.

- **Pared frontal cubierta sensor UV (5):** Sus dimensiones son de 2,4 x 0,7 x 0,2 cm (Fig. 4.74). Al unir con las piezas 1, 2 y 3 se obtiene la cubierta de la Fig. 4.75.

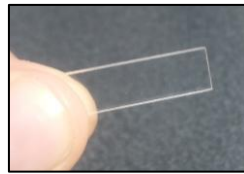


Fig. 4.74 Pared frontal cubierta sensor UV.



Fig. 4.75 Cubierta de acrílico transparente.

4.6. Construcción

La construcción del tótem se desarrolla a partir del modelo tridimensional diseñado en software CAD. Una vez validados los planos (Anexo B), se generan los archivos .DXF de 9 piezas: cubierta principal, pared divisora, placa base de macetero, placa base, placa superior, plancha

trasera, cubierta de macetero, perfil tipo U y placa de soporte para macetero. Con los archivos generados se realiza el corte laser de las 2 láminas de tol de 2,44 x 1,22 m (Fig. 4.76).



Fig. 4.76 Láminas de tol cortadas.

Después del corte, se procede al doblado de las planchas utilizando una plegadora, como se muestra en las Fig. 4.77. Las piezas obtenidas son las siguientes: cubierta principal, cubierta de macetero y perfil tipo U (Fig. 4.78, 4.79 y 4.80).



Fig. 4.77 Operación de doblado.



Fig. 4.78 Cubierta principal.



Fig. 4.79 Cubierta macetero doblado.



Fig. 4.80 Perfil tipo U.

A continuación, se realiza el proceso de soldadura de los subensambles “estructura” y “macetero trasero” (Fig. 4.81, 4.82, 4.83 y 4.84) garantizando una unión firme y resistente.

También se realiza el limado y lijado respectivo para eliminar rebabas, bordes filosos o restos de soldadura, con el fin de mejorar la estética y la seguridad del usuario.



Fig. 4.81 Proceso de soldadura de subensamble “Estructura”.



Fig. 4.82 Construcción del subensamble “estructura”. a) Vista trasera, b) Verificación de dimensiones.



Fig. 4.83 Proceso de soldadura de “macetero trasero”.



Fig. 4.84 Subensambles “estructura” y “macetero trasero”.

Posteriormente, se desarrolla la construcción del subensamble “conjunto Envolvente”. Para ello se realizan los cortes y perforaciones necesarios en la envolvente, como se muestra en la Fig. 4.85. De forma paralela, se efectúa el corte láser de todas las piezas de acrílico, que sirven como soporte estructural para los sensores, la pantalla, la Raspberry Pi y otros elementos electrónicos que conforman el sistema.



Fig. 4.85 Mecanizado de la envolvente.

Como se observa en la Fig. 8.86, se pintan con una pistola de pintura todas las piezas metálicas a excepción de la envolvente. Primero se aplica una capa antioxidante para después pasar la

capa de pintura gris, la cual permite difuminar las imperfecciones, mejorar el acabado estético y proteger el metal de la corrosión.



Fig. 4.86 Tótem pintado.

Se procede a sellar las aperturas existentes en los bordes del interior del tótem aplicando silicón, con el fin de evitar filtraciones de agua o ingreso de polvo. Además, se adhiere el empaque N65 a la plancha trasera para garantizar el sellado de la estructura. Para esto se utiliza cemento de contacto, obteniendo la pieza de la Fig. 4.87.



Fig. 4.87 Plancha trasera con empaques.

Se mecanizan los codos de PVC y el panel solar siguiendo las indicaciones y dimensiones de los planos respectivos. A continuación, se desarrolla el subensamble “cubierta de protección

del sensor UV” (Fig. 4.32). Para ello, se emplea pegamento transparente para unir las piezas de acrílico entre sí, como se muestra en la Fig. 4.75, y se adhiere la pieza carcasa de protección. Esta cubierta, al igual que el resto de piezas impresas en 3D, se debe impermeabilizar aplicando resina epóxica y pintura sobre su superficie.

Finalmente, se instala el panel solar utilizando remaches M5, obteniendo el resultado de la Fig. 4.88. Antes de fijarlo definitivamente, se introduce el cable UTP correspondiente al sensor UV a través del panel y de la pieza Placa Superior. También se debe introducir el cableado del panel solar a través del orificio de la placa superior.



Fig. 4.88 Estructura del tótem.

4.7. Ensamble

Se realiza la instalación dentro de la envolvente de las piezas: plancha de soporte para pantalla, plancha de soporte interna 1 y plancha de soporte interna 2. Estos elementos se fijan a la estructura mediante ángulos, pernos y tuercas (Fig. 4.89), como se muestra en los planos del Anexo B. De esta forma, se procede a instalar la pantalla, como se muestra en la Fig. 4.90.



Fig. 4.89 Envolverte con piezas de acrílico instaladas



Fig. 4.90 Pantalla instalada en envolverte.

A continuación, se introduce el subensamble “conjunto envolverte” en la estructura principal del tótem, como se visualiza en la Fig. 4.91. Este debe posicionarse alineado con la pared izquierda de la estructura, en la cual se encuentran los dos agujeros superiores. Esta ubicación permite la correcta instalación de las piezas codo modificado 1 y codo modificado 2.



Fig. 4.91 Envolverte colocada en “estructura”.

Los codos se fijan a través de pegamento de contacto o silicona estructural. El elemento de fijación se coloca en las superficies que están en contacto entre el interior de la envolverte y los codos, tal como se observa en la Fig. 4.92.



Fig. 4.92 Codos de PVC instalados.

Una vez instalados los codos, se acopla la envolverte con la estructura principal, la placa informativa y las esquinas de soporte, empleando tornillos y tuercas autoblocantes, asegurando una unión estable. El resultado se observa en la Fig. 4.93.



Fig. 4.93 “Estructura” con esquinas de soporte y placa informativa.

Se pegan las mallas mosquiteras a las rejillas para codos y las rejillas de ventilación. Estas rejillas, en conjunto con el interruptor de llave, se instalan en las aberturas correspondientes (Fig. 4.94), con el fin de permitir la circulación de aire sin comprometer la seguridad del tótem.

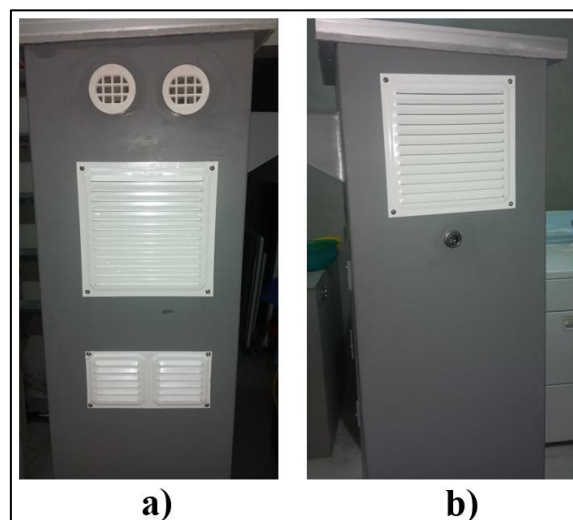


Fig. 4.94 Rejillas e interruptor de llave instalados. a) Vista lateral izquierda, b) Vista lateral derecha.

Se procede a conectar todos los sensores a la placa PCB, utilizando las borneras instaladas y cables AWG 18. Se debe verificar que las conexiones estén firmes y no existan cables sueltos. También se acopla el ventilador en el estuche de la Raspberry Pi.

Para las conexiones en el controlador de carga solar debe seguirse el siguiente orden: primero la batería, luego el panel solar y finalmente la carga alimentada. Para la desconexión, los pasos son inversos: primero la carga alimentada, después el panel solar y, por último, la batería. Seguir estos procesos es crucial para evitar daños en el controlador. También debe regularse el voltaje de flotación del controlador de carga cada vez que se vuelve a conectar la batería. De esta forma, se mantiene la integridad del sistema electrónico del tótem. El sistema electrónico instalado se puede observar en la Fig. 4.95.

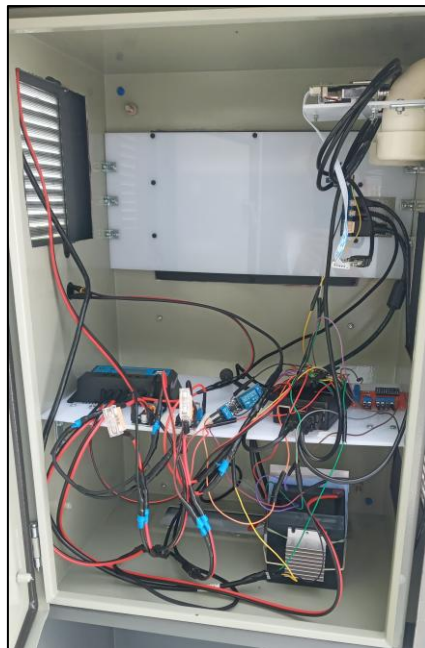


Fig. 4.95 Vista interna del subensamble “conjunto envolvente”.

El sensor de radiación UV se instala en la parte superior del panel solar, en el área designada para la medición de radiación ultravioleta. Para protegerlo, se ensambla la “cubierta de protección del sensor UV” al panel solar, asegurándola con los pernos correspondientes. Se

aplica silicona transparente en los bordes de la cubierta, con el fin de sellarla completamente, como se muestra en la Fig. 4.96.



Fig. 4.96 “Cubierta de protección del sensor UV” instalada.

A continuación, se lleva a cabo el subensamblaje del “macetero trasero”, para lo cual se colocan las tapas de acrílico junto con sus respectivas jaladeras, tal como se muestra en la Fig. 4.97. Una vez completado este paso, el macetero trasero se acopla al subensamblaje “estructura”, utilizando pernos M4 y las tuercas correspondientes, como se indica en la Fig. 4.98.

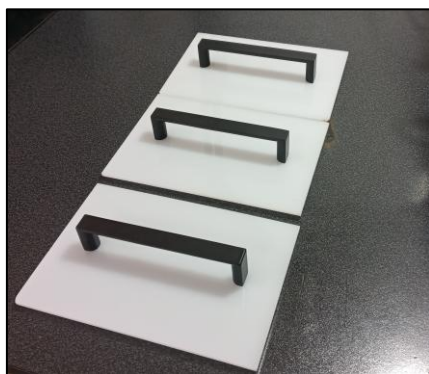


Fig. 4.97 Unión de tapas con jaladeras.



Fig. 4.98 Unión del macetero trasero con la estructura del tótem.

Se realiza el sellado con silicón de todas las uniones que lo requieran, especialmente en aquellas zonas expuestas a filtraciones, como los bordes de la pantalla. Se cierra la estructura colocando la plancha trasera y asegurándola mediante tornillos. Finalmente, se coloca la pegatina del código QR, concluyendo el ensamblaje (Fig. 4.99).

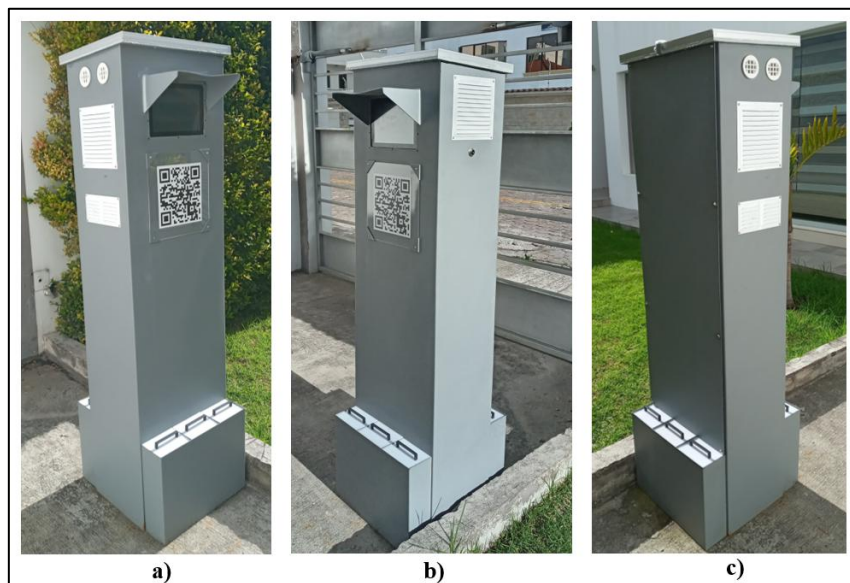


Fig. 4.99 Tótem medidor de condiciones ambientales. a) Vista 1 b) Vista 2, c) Vista 3.

4.8. Análisis de costos

El análisis de costos se divide en 4 grupos: piezas de estructura (Tabla 4.4), procesos de manufactura (Tabla 4.5), componentes para circuito del sistema (Tabla 4.6) y costo total del sistema (Tabla 4.7).

Tabla 4.4 Costo de piezas de estructura.

Pieza	Cantidad	Precio/U	Precio Total
Lámina lisa de tol negro de 2 mm	2	\$ 37,99	\$ 75,98
Rejilla para codo	2	\$ 0,79	\$ 1,58
Malla mosquitera	0,25	\$ 1,74	\$ 0,43
Pernos expansivos de 3/8" x 2"	6	\$ 0,50	\$ 3,00
Perno cabeza de botón M4 x 16 mm	4	\$ 0,06	\$ 0,24
Perno cabeza de botón M4 x 10 mm	24	\$ 0,05	\$ 1,20
Perno cabeza de botón M3 x 10 mm	12	\$ 0,03	\$ 0,36
Tuerca autoblocante M4	40	\$ 0,03	\$ 1,20
Tuerca de seguridad M3	12	\$ 0,04	\$ 0,48
Remache M5 con cabeza redonda	4	\$ 0,05	\$ 0,20
Jaladera	6	\$ 1,17	\$ 7,02
Rejilla de ventilación pequeña	1	\$ 2,60	\$ 2,60
Esquina de soporte	4	\$ 0,20	\$ 0,80
Empaque N65 (1 m)	3	\$ 2,00	\$ 6,00
Tapa 1 de macetero	4	\$ 1,22	\$ 4,88
Tapa 2 de macetero	2	\$ 1,22	\$ 2,44
Plancha informativa	1	\$ 3,00	\$ 3,00
Rejilla de ventilación grande	2	\$ 4,11	\$ 8,22
Tapa cubierta sensor UV	1	\$ 0,20	\$ 0,20
Pared trasera cubierta sensor UV	1	\$ 0,20	\$ 0,20
Pared frontal cubierta sensor UV	1	\$ 0,20	\$ 0,20
Pared lateral cubierta sensor UV	2	\$ 0,20	\$ 0,40
Carcasa de protección	1	\$ 0,30	\$ 0,30
Perno estrella autoperforante M3x12mm	2	\$ 0,10	\$ 0,20
Perno M3 x 8 mm tipo estrella	1	\$ 0,02	\$ 0,02
Codo de PVC	2	\$ 1,30	\$ 2,60
Perno M4 x 10 mm tipo estrella	36	\$ 0,05	\$ 1,80
Perno M3 x 10 mm tipo estrella	3	\$ 0,04	\$ 0,12
Plancha de soporte interno 1	1	\$ 1,22	\$ 1,22
Plancha de soporte interno 2	1	\$ 1,22	\$ 1,22
Ángulo de unión pequeño	18	\$ 0,17	\$ 3,06
Ángulo de unión grande	2	\$ 1,80	\$ 3,06
Envolvente	1	\$ 158,00	\$ 158,00
Tuerca M3 hexagonal	3	\$ 0,03	\$ 0,09
Plancha de soporte para pantalla	1	\$ 1,22	\$ 1,22
Tuerca M4 hexagonal	4	\$ 0,03	\$ 0,12
Tapón	2	\$ 0,73	\$ 1,46
Pegatina	1	\$ 3,00	\$ 3,00
Cubierta solar para pantalla	1	\$ 15,00	\$ 15,00
Arandelas para perno M4	8	\$ 0,08	\$ 0,64
Total			\$ 314,3

Tabla 4.5 Costo de procesos de manufactura.

Pieza	Cantidad	Precio/U	Precio Total
Mecanizado (soldadura, dobleces, perforaciones y corte)	1	\$ 320,00	\$ 320,00
Corte laser para láminas de tol	1	\$ 120,00	\$ 120,00
Pintura	1	\$ 80,00	\$ 80,00
Resina epóxica	1	\$ 7,57	\$ 7,57
Silicón	1	\$ 7,50	\$ 7,50
Cemento de contacto	1	\$ 1,30	\$ 1,30
Total			\$ 536,37

Tabla 4.6 Costo de componentes para circuito del sistema.

Pieza	Cantidad	Precio/U	Precio Total
Sensor DHT22	2	\$ 9,74	\$ 19,48
Pantalla de 10,1"	1	\$ 209,99	\$ 209,99
Batería de 12 V y 5 Ah recargable	1	\$ 15,00	\$ 15,00
Controlador de carga solar	1	\$ 22,00	\$ 22,00
Conversor ADC	1	\$ 3,39	\$ 3,39
PCB	1	\$ 8,00	\$ 8,00
Módulo regulador de voltaje XL4015E1	2	\$ 3,70	\$ 7,40
Raspberry Pi 3B V1.2	1	\$ 100,00	\$ 100,00
Tarjeta de memoria micro SD 64 GB	1	\$ 10,35	\$ 10,35
Sensor PM SDS011	1	\$ 51,15	\$ 51,15
Interruptor tipo llave	1	\$ 18,10	\$ 18,10
Sensor GY-ML8511	1	\$ 11,00	\$ 11,00
Panel solar	1	\$ 35,00	\$ 35,00
Portafusibles pequeño de chasis	2	\$ 0,50	\$ 1,00
Fusibles	2	\$ 0,15	\$ 0,30
Conector USB hembra	2	\$ 3,00	\$ 6,00
Cable HDMI (1 m)	1	\$ 5,00	\$ 5,00
Cables con terminales USB y micro USB	3	\$ 4,50	\$ 13,50
Resistencia de 1 kohm	2	\$ 0,05	\$ 0,10
Cable AWG 18 Varios colores (1 m)	6	\$ 0,40	\$ 2,40
Espadines macho	10	\$ 0,10	\$ 1,00
Espadines hembra	10	\$ 0,10	\$ 1,00
Condensador electrolítico de 1000 μ F y 16 V	1	\$ 0,50	\$ 0,50
Condensador cerámico CL21 474J 400V	2	\$ 0,65	\$ 1,30
Terminal para batería	2	\$ 0,10	\$ 0,20
Cable termocontraible de 2.0	1	\$ 0,43	\$ 0,43
Terminal de riel hembra (para portafusibles)	4	\$ 0,10	\$ 0,40
Terminal tipo bala Macho 4 mm	9	\$ 0,10	\$ 0,90
Terminal tipo bala Hembra 4 mm	9	\$ 0,10	\$ 0,90
Taípe negro	1	\$ 1,10	\$ 1,10
Case para Raspberry Pi 3B con ventilador	1	\$ 14,00	\$ 14,00
Kit de 40 cables Dupont de 10 cm	1	\$ 2,00	\$ 2,00
Módulo relé de 5V 1 Canal	1	\$ 3,00	\$ 3,00
Kit disipador de calor	1	\$ 11,00	\$ 11,00
Estañó (1 m)	1	\$ 1,00	\$ 1,00
Total			\$ 577,89

Tabla 4.7 Costo total del sistema.

Grupos	Precio Total
Piezas de estructura	\$ 314,30
Procesos de manufactura	\$ 536,37
Componentes para circuito del sistema	\$ 577,89
Total	\$ 1.428,56

4.9. Manual de usuario

El manual de usuario se encuentra en el Anexo A.

4.10. Pruebas de funcionamiento

4.10.1. Prueba de comunicación

Esta prueba se realiza con el objetivo de medir la latencia del sistema en su escritura de datos en Firestore. Los equipos necesarios son: tótem medidor de condiciones ambientales para espacios públicos conectado a internet.

Se debe utilizar el código “pruebaFuncionamiento1.py”, el cual mide la latencia en base a la métrica RTT (Tiempo de Ida y Vuelta, en inglés Round Trip Time). Esta métrica representa el tiempo que tarda un paquete de datos en realizar el recorrido completo desde que se envía hasta que retorna al origen. En este caso, se mide el tiempo que toma una solicitud para llegar a Firestore, realizar la escritura de datos y retornar a la Raspberry Pi 3B.

El programa mencionado recopila las latencias para cada escritura realizada en Firestore por un periodo de 10 minutos. Es importante recalcar que el código ejecuta 2 operaciones de escrituras para colecciones diferentes: “real-time” y “historial”.

Durante la ejecución de la prueba, el programa debe mantenerse activo por el lapso completo de 10 minutos. Al finalizar, se genera una gráfica que muestra el comportamiento de las latencias registradas, así como los valores promedio, máximo y mínimo obtenidos en cada colección. Esta información permite evaluar la estabilidad y eficiencia de la transmisión de datos entre el cliente y la base de datos en la nube.

La prueba debe realizarse dentro de la franja horaria de las 10h00 hasta las 14h00. Esto debido a que el envío de datos a la nube está programado dentro de ese horario.

4.10.1.1. Resultados

La prueba se realizó desde las 11h00. Al ejecutar el programa, se obtienen los datos de las Fig. 4.100 y 4.101.

```
xibernetiq@raspberrypi: ~/Documents/Tesis/Interfaz
File Edit Tabs Help
PM 2.5: 0.8 µg/m³ PM 10: 2.2 µg/m³

*._._._._._ Entro a (2) *._._._._._
Datos subidos a Firestore con id doc
>>>>>>> Latencia: 0.147 <<<<<<<<<
**** Valores para latencias (con ID) ****
Valor promedio: 0.1639342174447816
Valor mínimo: 0.1287696361541748
Valor máximo: 1.3368492126464844
Total de escrituras: 232

**** Valores para latencias (sin ID) ****
Valor promedio: 0.19447164102034134
Valor mínimo: 0.13478970527648926
Valor máximo: 0.4417581558227539
Total de escrituras: 231
/home/xibernetiq/Documents/Tesis/Interfaz/codigoTotemRespaldoFirebase3.py:144: UserWarning: Starting a Matplotlib GUI outside of the main thread will likely fail.
  plt.plot(listaLatencias, label="Con ID especificado")
/home/xibernetiq/Documents/Tesis/Interfaz/codigoTotemRespaldoFirebase3.py:151: UserWarning: Starting a Matplotlib GUI outside of the main thread will likely fail.
  plt.show()
```

Fig. 4.100 Valores de latencias para documentos escritos.

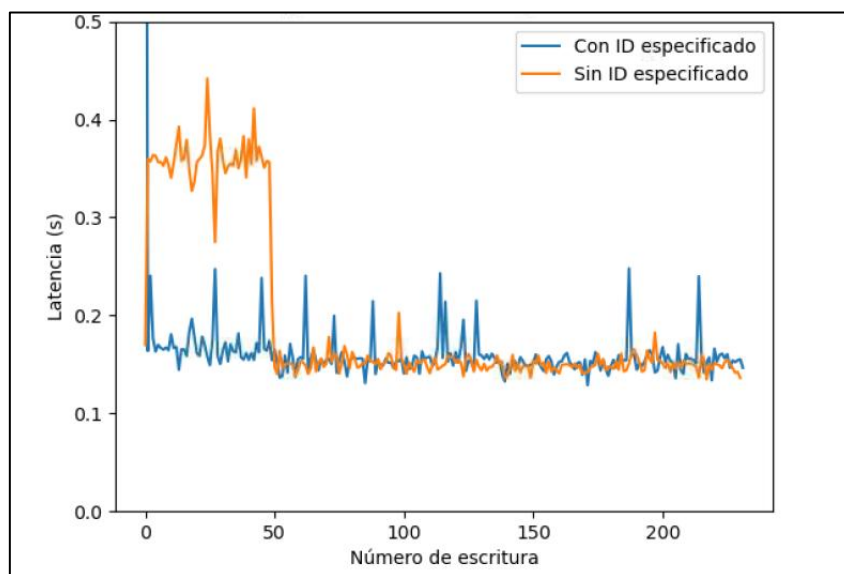


Fig. 4.101 Gráfica de latencias de escrituras en Firestore durante 10 minutos.

Como se observa en la Fig. 4.100, la colección “real_time” presenta una latencia máxima de 1,33 segundos. Esta corresponde a la primera escritura realizada desde la Raspberry Pi 3B hacia Firestore, en la cual el sistema establece la conexión inicial con la base de datos. Una vez completada esa primera comunicación, las siguientes escrituras presentan latencias

notablemente menores, como se muestra en la Fig. 4.101. Los valores calculados también indican una latencia mínima de 0,13 segundos y un valor promedio de 0,16 segundos.

En cuanto a la colección “historial”, en la cual los documentos no poseen un identificador (ID) preestablecido, Firestore debe ejecutar procesos adicionales para generar un ID único para cada nueva entrada. La latencia máxima registrada es de 0,44 segundos, la cual, aunque ya es un poco más estable, aun no alcanza su etapa estacionaria debido a que se produce después de la primera escritura en la colección “real_time”. En este caso, el valor mínimo también es de 0,13 segundos, mientras que el promedio alcanza los 0,19 segundos.

La diferencia entre los valores promedio de ambas colecciones se explica por la forma en que Firestore gestiona los documentos. Mientras que en “real_time” se realiza una sobreescritura constante sobre un documento con un ID fijo, en “historial” se genera un nuevo documento en cada operación, lo que implica la asignación de un identificador único por parte del sistema. Este proceso adicional introduce un ligero aumento en la latencia.

A pesar de estas pequeñas variaciones que se obtienen en los resultados, estos son satisfactorios y demuestran que la comunicación del sistema con Firestore es eficiente y rápida. La latencia es baja, no llegando a superar las dos décimas de segundo, lo que garantiza la fluidez de la PWA y que el usuario no note demoras e inconsistencias entre los valores de la interfaz de la pantalla y la interfaz de la aplicación web.

4.10.2. Prueba de medición

Esta prueba tiene por objetivo medir y analizar los parámetros ambientales (temperatura atmosférica, humedad relativa, índice de radiación UV y calidad del aire) mostrados en la interfaz. Para esto, se utilizan los siguientes equipos: tótem medidor de condiciones ambientales para espacios públicos conectado a internet, fuentes de alimentación para Raspberry Pi 3B y pantalla, multímetro con termocupla, higrómetro (HTC-1) y computador para almacenar datos.

Se debe emplear el código “pruebaFuncionamiento2.py” para realizar la comparación entre los datos medidos por el tótem y los proporcionados por fuentes externas y/o sensores comerciales. Este programa registra cada minuto en un archivo de texto (.TXT) los valores ambientales medidos por el tótem, tanto los originales como los ajustados. Además, almacena los datos de temperatura, humedad, índice UV, PM2,5 y PM10 obtenidos desde las plataformas web de The Weather Company (Weather.com) [80] [81].

The Weather Company es una empresa centrada en la provisión e información de datos meteorológicos de forma precisa gracias al trabajo del sistema GRAF (Sistema Global de Pronóstico Atmosférico de Alta Resolución, en inglés Global High-Resolution Atmospheric Forecasting System) en conjunto con varios datos satelitales. GRAF es una plataforma de modelado atmosférico que presenta un elevado nivel de precisión debido a que utiliza fundamentos físicos para las predicciones mostradas. Emplea datos meteorológicos de alta resolución y gráficos generados por tecnología NVIDIA que, combinados con inteligencia artificial, permiten optimizar constantemente los modelos y resultados generados [82]. Debido a esto, en la actualidad, los pronósticos de The Weather Company están entre los más confiables a nivel mundial.

Ahora bien, aunque los datos proporcionados por Weather.com se catalogan como hiperlocales, en la práctica no contemplan ciertas características geográficas específicas, como la Cordillera de los Andes (ver Fig. 4.102). Este es el caso de la orografía ecuatoriana, en donde se pueden encontrar diversos microclimas, los cuales generan cambios en la atmósfera circundante, lo que produce que los resultados que proveen varias páginas web puedan presentar ciertos desajustes en algunas ciudades o regiones específicas del Ecuador.



Fig. 4.102 Presencia de la Cordillera de los Andes en Ecuador [83].

La prueba de medición puede ejecutarse de dos formas distintas. La primera se realiza sin utilizar fuentes de alimentación externas para la Raspberry Pi ni para la pantalla. En este caso, el sistema emplea únicamente la energía almacenada en la batería, utilizando el circuito representado en la Fig. 4.20. En esta forma, la medición se limita al tiempo que dure la carga de la batería.

En la segunda opción, se deben utilizar la Raspberry Pi y la pantalla con sus respectivas fuentes de alimentación externas, lo que permite que no dependan del circuito de potencia de la batería. Las fuentes de alimentación deben conectarse al tomacorriente utilizando una extensión. Esta forma de realización de la prueba permite extender su duración tanto como el usuario lo considere necesario.

Es importante señalar que, para obtener resultados más exactos en la medición de temperatura y humedad, se debe utilizar obligatoriamente el circuito mostrado en la Fig. 4.20. Esto se debe a que el ajuste de las mediciones considera el calor generado por el uso de la batería, por lo cual cambiar la fuente de alimentación altera las condiciones térmicas del sistema.

Se debe ubicar el multímetro con termocupla y el higrómetro en un sitio que impida la exposición directa de los equipos a los rayos UV y de la lluvia, para garantizar su correcto funcionamiento. Este lugar debe mantener condiciones ambientales equivalentes a las del entorno en la que está funcionando el tótem. De esta forma, las comparaciones entre las mediciones del tótem y de los equipos comerciales puede contrastarse de forma correcta. La prueba se realiza en la parroquia El Sagrario, en la ciudad de Ibarra, provincia de Imbabura, Ecuador, durante el mes de abril del año 2025.

Al encender el sistema, el usuario debe conectarse a la Raspberry Pi desde un computador para revisar las mediciones almacenadas en el archivo de texto de la carpeta “Totem” que se encuentra dentro de “ArchivosTexto”. En paralelo, debe registrar manualmente los datos de temperatura y humedad proporcionados por la termocupla y el higrómetro cada 10 minutos. Esta información se usa posteriormente para comparar y validar los valores medidos por el tótem. La duración total de la toma de datos puede ser definida libremente por el usuario, en función del objetivo de la prueba.

4.10.2.1. Resultados de temperatura

En todas las mediciones realizadas se observa un comportamiento similar. Las mediciones de los días 15/05/2025 y 17/05/2025 se muestran en las Fig. 4.103 y 4.104.

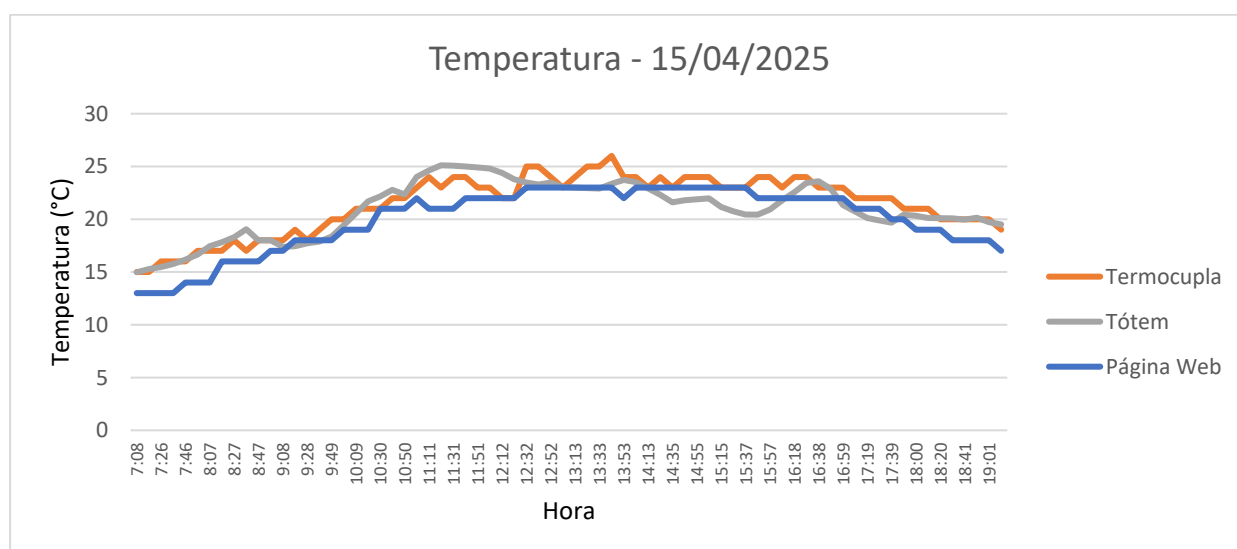


Fig. 4.103 Mediciones de temperatura del día 15/04/2025.

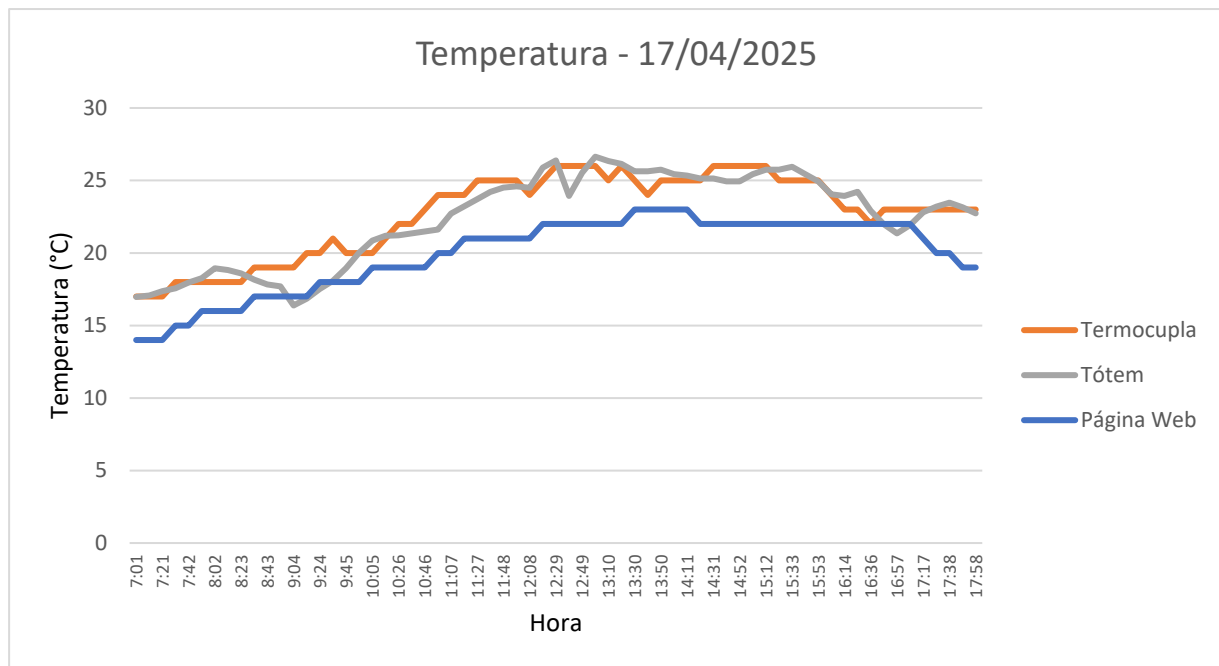


Fig. 4.104 Mediciones de temperatura del día 17/04/2025.

Las variables indicadas en las gráficas corresponden a los valores obtenidos por la termocupla, el tótem y la página web (Weather.com). En las Tablas 4.8 y 4.9 se muestran los resultados estadísticos del día 15/04/2025, mientras que en las Tablas 4.10 y 4.11 los resultados del día 17/04/2025.

Tabla 4.8 Resultados estadísticos entre la termocupla y tótem (15/04/2025).

Indicador estadístico	Valor (%)	Observación
Error promedio	4,962	Ninguna
Desviación estándar del error	3,663	Ninguna
Error mínimo	0,000	Separación de 0 °C de la medida de la termocupla
Error máximo	14,879	Separación de 3,571 °C de la medida de la termocupla

Tabla 4.9 Resultados estadísticos entre la termocupla y página web (15/04/2025).

Indicador estadístico	Valor (%)	Observación
Error promedio	6,939	Ninguna
Desviación estándar del error	4,540	Ninguna
Error mínimo	0,000	Separación de 0 °C de la medida de la termocupla
Error máximo	18,750	Separación de 3 °C de la medida de la termocupla

Tabla 4.10 Resultados estadísticos entre la termocupla y tótem (17/04/2025).

Indicador estadístico	Valor (%)	Observación
Error promedio	3,803	Ninguna
Desviación estándar del error	3,368	Ninguna
Error mínimo	0,135	Separación de 0,027 °C de la medida de la termocupla
Error máximo	15,745	Separación de 3,149 °C de la medida de la termocupla

Tabla 4.11 Resultados estadísticos entre la termocupla y página web (17/04/2025).

Indicador estadístico	Valor (%)	Observación
Error promedio	12,112	Ninguna
Desviación estándar del error	4,180	Ninguna
Error mínimo	0,000	Separación de 0 °C de la medida de la termocupla
Error máximo	17,647	Separación de 3 °C de la medida de la termocupla

Los resultados obtenidos muestran que la medición de temperatura del tótem presenta, en términos generales, mayor precisión y exactitud en comparación con los valores reportados por la página web Weather.com en los días de ejecución de la presente prueba de funcionamiento. El error promedio entre los registros del tótem y los datos de la termocupla durante todos los días de medición es de 3,921 %. En cambio, el error promedio entre los valores de la termocupla y los proporcionados por Weather.com asciende a 9,132 %.

4.10.2.2. Resultados de humedad

Al igual que en el caso de la temperatura, se observa un comportamiento similar en todas las mediciones realizadas. Los resultados correspondientes a los días 15/05/2025 y 17/05/2025 se presentan en las Figuras 4.105 y 4.106, respectivamente.

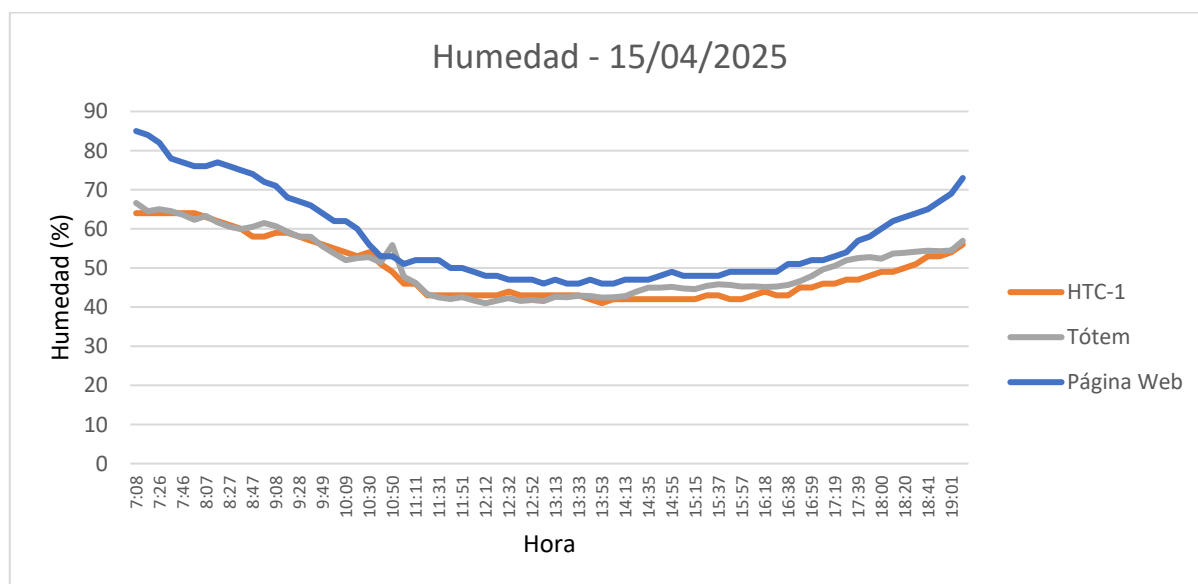


Fig. 4.105 Mediciones de humedad del día 15/04/2025.

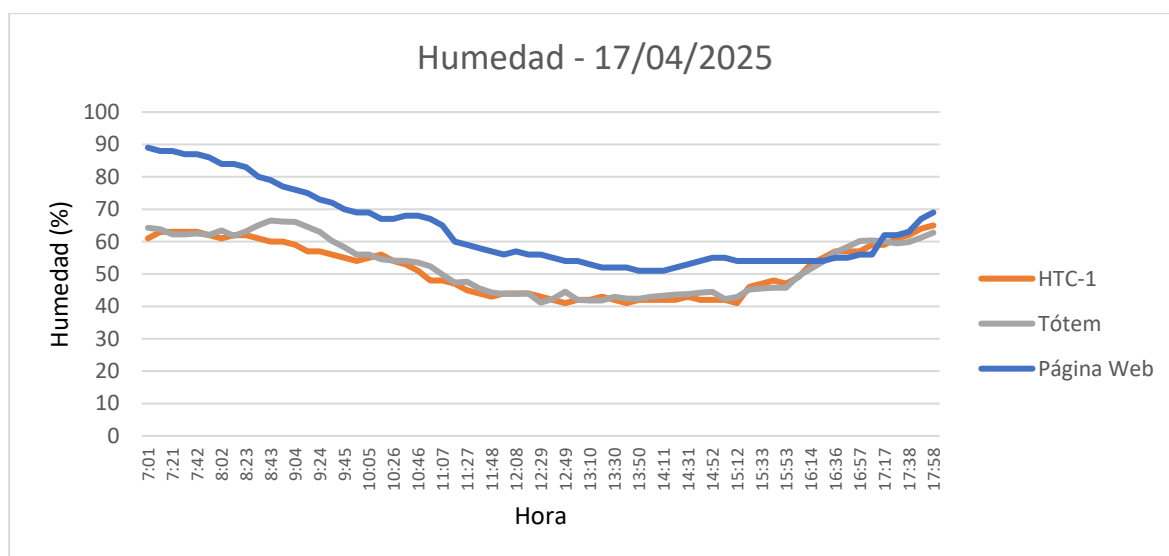


Fig. 4.106 Mediciones de humedad del día 17/04/2025.

Las variables indicadas en las gráficas corresponden a los valores obtenidos por el higrómetro HTC-1, el tótem y la página web (Weather.com). En las Tablas 4.12 y 4.13 se muestran los resultados estadísticos del día 15/04/2025, mientras que en las Tablas 4.14 y 4.15 los resultados del día 17/04/2025.

Tabla 4.12 Resultados estadísticos entre el higrómetro y tótem (15/04/2025).

Indicador estadístico	Valor (%)	Observación
Error promedio	3,920	Ninguna
Desviación estándar del error	3,189	Ninguna
Error mínimo	0,017	Separación de 0,01% de la medida del higrómetro
Error máximo	13,961	Separación de 6,841% de la medida del higrómetro

Tabla 4.13 Resultados estadísticos entre el higrómetro y página web (15/04/2025).

Indicador estadístico	Valor (%)	Observación
Error promedio	16,574	Ninguna
Desviación estándar del error	6,720	Ninguna
Error mínimo	3,704	Separación de 2% de la medida del higrómetro
Error máximo	32,810	Separación de 21% de la medida del higrómetro

Tabla 4.14 Resultados estadísticos entre el higrómetro y tótem (17/04/2025).

Indicador estadístico	Valor (%)	Observación
Error promedio	3,540	Ninguna
Desviación estándar del error	3,085	Ninguna
Error mínimo	0,007	Separación de 0,003% de la medida del higrómetro
Error máximo	13,226	Separación de 7,539% de la medida del higrómetro

Tabla 4.15 Resultados estadísticos entre el higrómetro y página web (17/04/2025).

Indicador estadístico	Valor (%)	Observación
Error promedio	24,352	Ninguna
Desviación estándar del error	11,542	Ninguna
Error mínimo	1,613	Separación de 1% de la medida del higrómetro
Error máximo	45,902	Separación de 28% de la medida del higrómetro

Los resultados obtenidos indican que la medición de humedad relativa realizada por el tótem presenta una mayor precisión y exactitud en comparación con los valores reportados por la página web Weather.com en los días de ejecución de la presente prueba de funcionamiento. El error promedio entre las lecturas del higrómetro y las del tótem, calculado a lo largo de todos los días de medición, es de 3,534 %. En contraste, el error promedio entre el higrómetro y los valores proporcionados por Weather.com alcanza un 14,685 %.

4.10.2.3. Resultados de calidad del aire (PM2,5 y PM10)

Tras analizar únicamente las distintas mediciones del tótem, no se identifica un comportamiento común entre todos los días de estudio. Esta falta de correlación podría explicarse debido a la alta variabilidad de los niveles de material particulado, los cuales dependen de factores externos como el tráfico vehicular en tiempo real o las quemas agrícolas en las proximidades. En las Fig. 4.107 y 4.108 se muestran las mediciones realizadas por el tótem y la página web en el 15/04/2025.

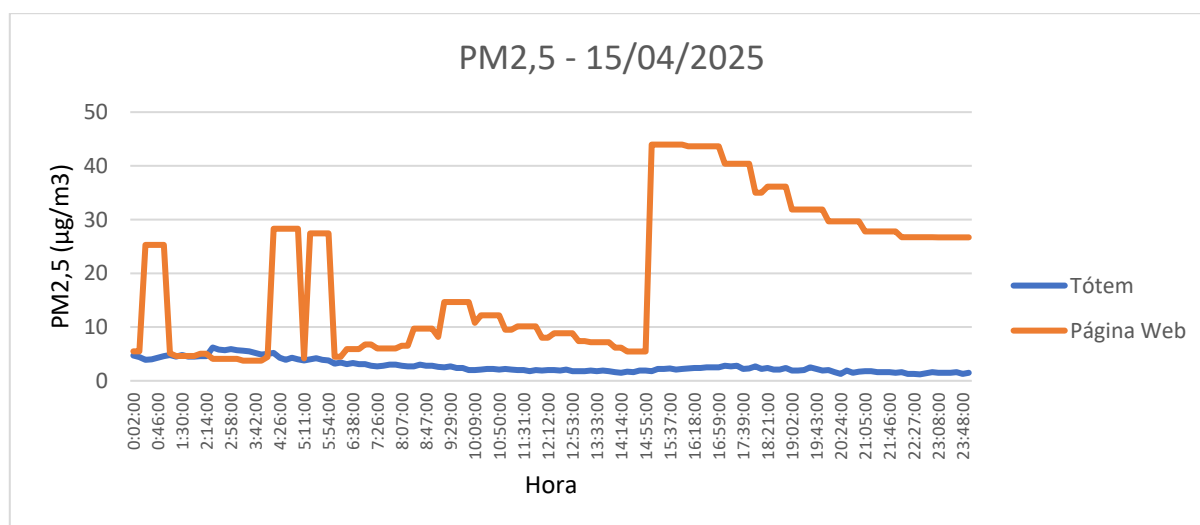


Fig. 4.107 Mediciones de PM2,5 del día 15/04/2025.

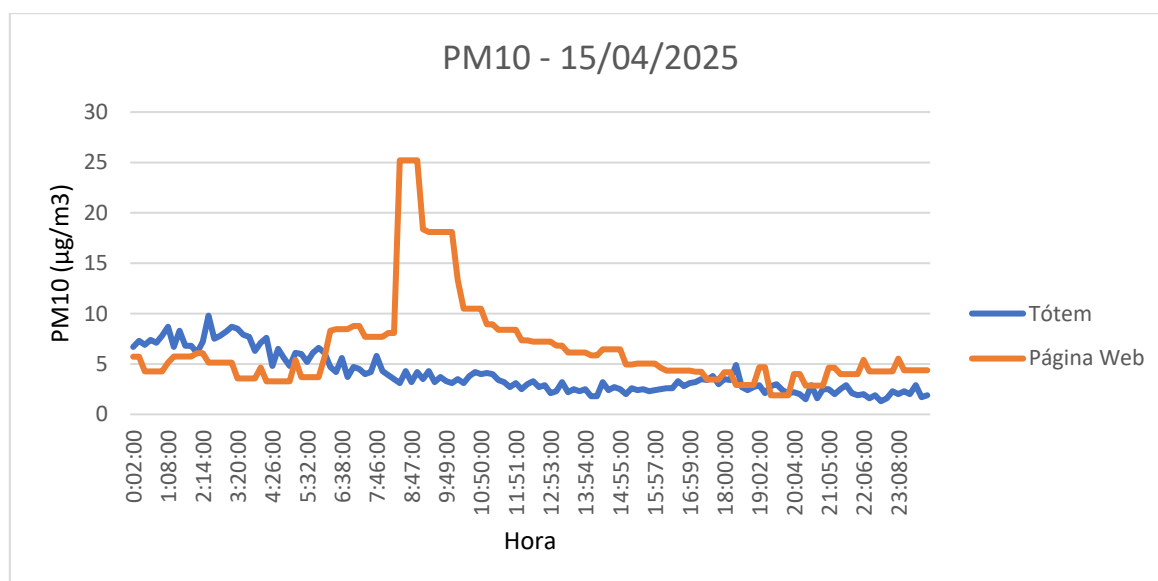


Fig. 4.108 Mediciones de PM10 del día 15/04/2025.

A diferencia de las mediciones de temperatura y humedad, no se cuenta con un instrumento de referencia con el cual validar los valores registrados por el tótem en cuanto a la calidad del aire (PM2,5 y PM10). Sin embargo, se realiza una comparación entre los datos obtenidos por el tótem y los reportados por la página web Weather.com, la cual se muestra en la Tabla 4.16.

Tabla 4.16 Comparación de mediciones entre el tótem y la página web (15/04/2025).

Parámetro	Fuente	Valor máximo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Valor mínimo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
PM2,5	Tótem	6,2	1,2
PM2,5	Página web	43,96	3,75
PM10	Tótem	9,8	1,3
PM10	Página web	25,21	1,89

Como se puede observar en las tablas y gráficas respectivas se observa una diferencia significativa entre los valores del tótem y los de la página web. Sin embargo, esto no implica que las mediciones realizadas por el tótem estén erradas, debido a que este sistema detecta los valores ambientales del sitio específico en el que se encuentra instalado, mientras que la página web muestra datos estimados para una zona geográfica más amplia.

Además, se determina que eventos locales, como el incremento del tráfico vehicular o la quema agrícola en determinado momento, son capaces de generar variaciones marcadas en la concentración de material particulado. Estas fluctuaciones son detectadas de mejor manera por

el tótem, a diferencia de la página web que muestra valores estimados para un área más amplia a través de modelos regionales.

4.10.2.4. Resultados de índice de radiación UV

Al igual que con la calidad del aire, no se dispone de un instrumento de referencia para contrastar los valores registrados por el tótem en relación con el índice de radiación UV. No obstante, se realiza una comparación directa entre las mediciones obtenidas por el sistema y los datos proporcionados por la página web Weather.com.

A lo largo de los diferentes días de observación, se identifica un patrón de comportamiento común, en el que el índice UV comienza a incrementarse alrededor de las 07h15 y retorna a un valor de 0 aproximadamente a las 17h15. Este comportamiento puede observarse en la Figura 4.109, donde se comparan los valores registrados por el tótem con los reportados por la página web.

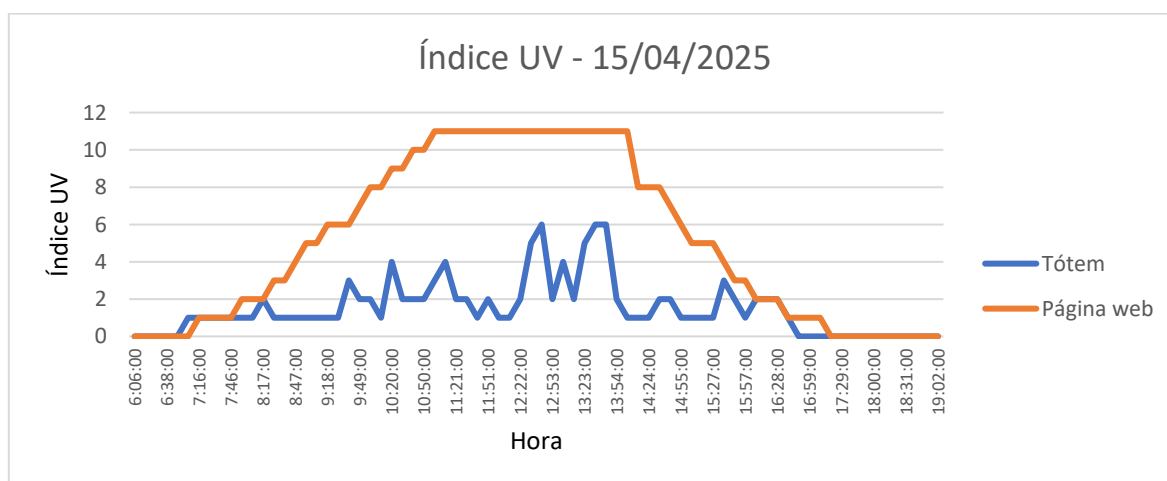


Fig. 4.109 Mediciones del índice UV del día 15/04/2025.

El valor máximo detectado por el tótem es de un índice de 6, mientras que la página web registra un valor máximo de 11. Esta diferencia entre los valores se puede atribuir principalmente a la presencia de nubes durante la ejecución de las pruebas, las cuales disminuyen grandemente la incidencia de la radiación UV en el sensor del tótem. Por tanto, se concluye que las mediciones

realizadas por el sistema reflejan adecuadamente las condiciones climáticas locales del sitio donde está instalado, ya que el sensor detecta con rapidez las variaciones en los niveles de radiación provocadas por la aparición o ausencia de nubes.

4.10.3. Prueba de potencia

El objetivo de esta prueba es medir y analizar los tiempos de carga y de descarga de la batería del tótem. Los equipos necesarios son: tótem medidor de condiciones ambientales para espacios públicos conectado a internet, multímetro y computador.

Se emplea el código “pruebaFuncionamiento3.py”, que se encarga de monitorear el estado del sistema energético, registrando el voltaje de la batería cada minuto. Toda la información se guarda automáticamente en un archivo de texto (.TXT), lo que facilita su revisión y análisis más adelante.

Durante la prueba, se requiere conectar un multímetro de forma que permita observar la corriente que consume la batería y la que entrega el panel solar al controlador de carga. Con estos datos, es posible tener una idea clara del comportamiento del flujo de energía dentro del sistema.

La prueba de carga se realiza a partir de las 10h00, ya que entre las 10h00 y las 15h00 se presenta el mayor nivel de radiación solar, lo que permite que el panel trabaje muy cerca de su rendimiento máximo (ver Fig. 4.110). Antes de iniciar la prueba, la batería debe tener un nivel de carga ligeramente superior al 60 %, lo que corresponde aproximadamente a 7,2 V.

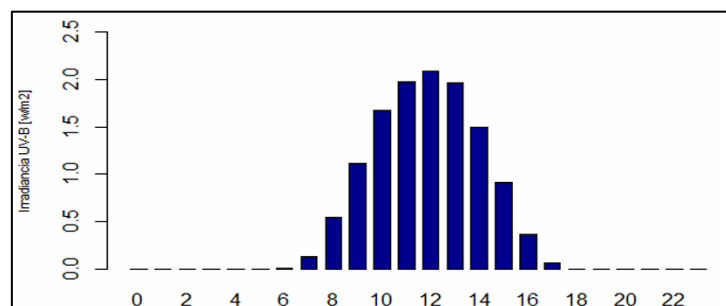


Fig. 4.110 Irradiancia solar en franjas horarias [84].

La prueba de descarga puede ejecutarse en cualquier momento del día, debido a que en este caso el sistema opera únicamente con el circuito de consumo conectado a la batería, sin conectar el panel solar al controlador de carga. De esta manera, se observa el comportamiento del sistema bajo condiciones de consumo continuo, sin aporte energético externo. La prueba se mantiene activa hasta que la batería alcanza aproximadamente el 60 % de su capacidad.

El programa “pruebaFuncionamiento3.py” monitorea de forma automática el voltaje de la batería. Si en algún momento el sistema detecta un valor igual o menor a 7,2 V, el programa se detiene y la Raspberry Pi se apaga por sí sola, lo que ayuda a proteger el sistema y evita que la batería sufra una descarga profunda.

Finalmente, se lleva a cabo la prueba de carga y descarga simultánea, que consiste en conectar al mismo tiempo la batería cargada, el circuito que consume energía y el panel solar. Esta prueba permite ver cómo se comporta el sistema cuando debe equilibrar lo que consume con lo que el panel logra generar. Se recomienda que la prueba se realice alrededor de las 08h00, cuando la radiación solar comienza a aumentar. Al igual que en la prueba anterior, se continúa con la medición hasta que la batería vuelve a alcanzar un 60 % de carga, lo que permite evaluar el comportamiento del sistema en condiciones reales de operación combinada.

4.10.3.1. Resultados del proceso de carga

Al realizar las mediciones de amperaje con el multímetro se observa que la corriente máxima que fluye desde el panel solar al controlador de carga solar es de 0,43 A. Este valor de corriente es la inicial, cuando la batería se encuentra descargada. A medida que aumenta la carga, este valor de corriente disminuye.

Al medir el tiempo de carga, se determina que la batería alcanza su capacidad máxima en un periodo aproximado de 3 horas con 33 minutos. Sin embargo, después de 1 hora con 30 minutos

de exposición, la batería presenta un voltaje de 12,09 V, el cual es suficiente para que el sistema opere con normalidad y sin interrupciones.

Durante la prueba, el clima se presenta parcialmente nublado, lo que reduce la irradiancia solar disponible para el panel. Esto influye directamente en el tiempo de carga, por lo que se estima que, en un día con cielo completamente despejado, ese tiempo sea considerablemente menor.

La diferencia observada con respecto al cálculo teórico desarrollado en la sección 4.4.3 se justifica por el hecho de que el controlador de carga solar empleado presenta una eficiencia superior al 80 %, lo que mejora el rendimiento real del sistema. El comportamiento del proceso de carga se puede ver en la Fig. 4.111.

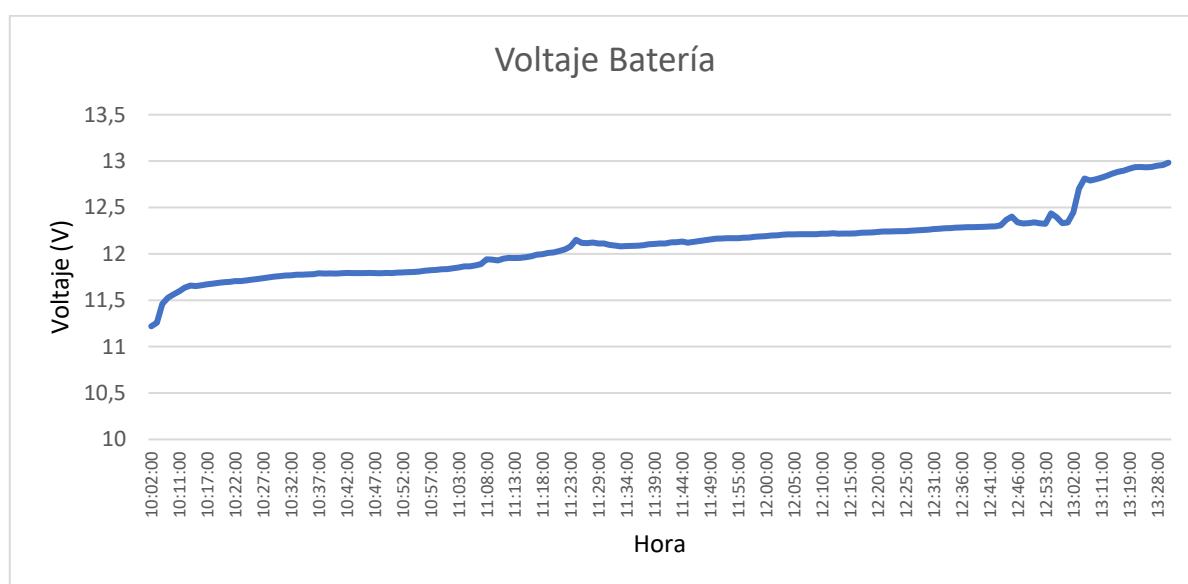


Fig. 4.111 Evolución del proceso carga.

4.10.3.2. Resultados del proceso de descarga

Al realizar las mediciones de corriente con el multímetro se observa que la corriente máxima que fluye desde la batería al sistema encendido, sin la conexión del panel solar, es de 0,9 A. Cuando se apaga la Raspberry Pi 3B, pero el circuito sigue cerrado, existe una corriente máxima de 0,17 A.

La duración total de la batería, desde el inicio de la prueba hasta alcanzar un voltaje final de 7,06 V, es de aproximadamente 4 horas y 6 minutos. Este valor resulta muy cercano al tiempo estimado previamente mediante el cálculo teórico presentado en la sección 4.2.1.1, lo cual valida la consistencia entre el modelo matemático y el comportamiento real del sistema. El comportamiento del voltaje de la batería durante esta prueba se puede ver en la Fig. 4.112.

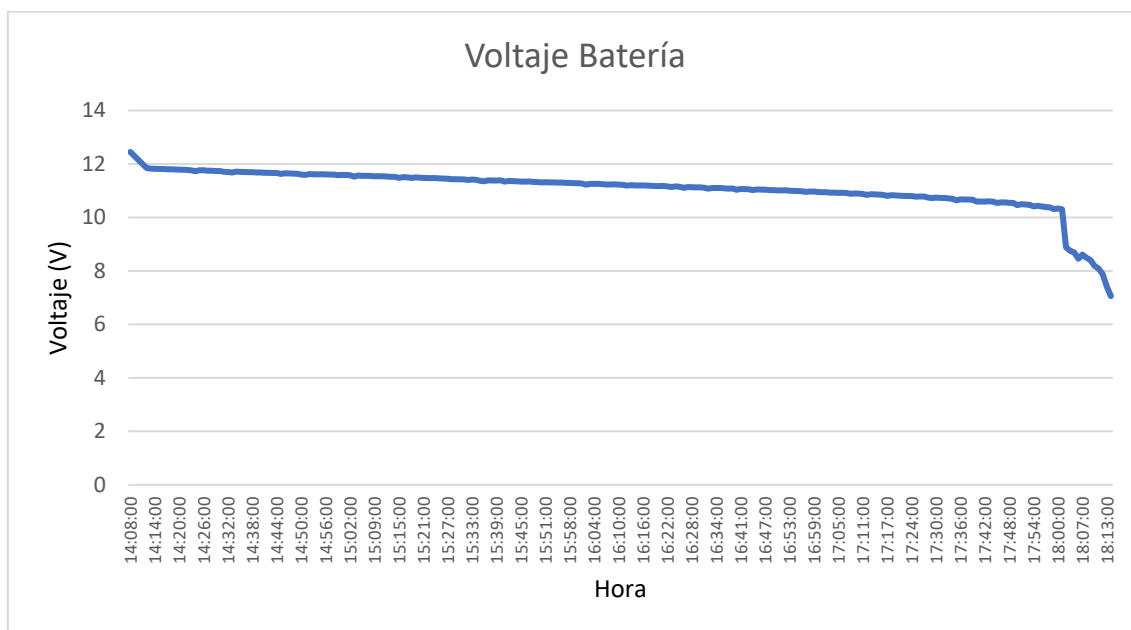


Fig. 4.112 Evolución del proceso descarga.

4.10.3.3. Resultados del proceso de carga-descarga

La prueba se inicia a las 10h16 del día 16/05/2025, momento en que el tótem se enciende y comienza a operar bajo condiciones reales. A lo largo de toda la prueba, se mantiene un nivel elevado de nubosidad, lo que afecta la potencia generada por el panel solar.

Al realizar las mediciones de corriente con el multímetro se observa que la corriente máxima que fluye desde la batería es de 0,66 A. La corriente que circula desde el panel solar al controlador de carga es de 0,20 A. Este bajo valor de amperaje del panel solar se debe a que la batería se encuentra completamente cargada.

Bajo estas condiciones, se determina que el sistema mantiene su funcionamiento durante 6 horas con 17 minutos aproximadamente, hasta que la batería alcanza un voltaje de 7,2 V. El comportamiento del voltaje durante esta prueba se muestra en la Figura 4.113.

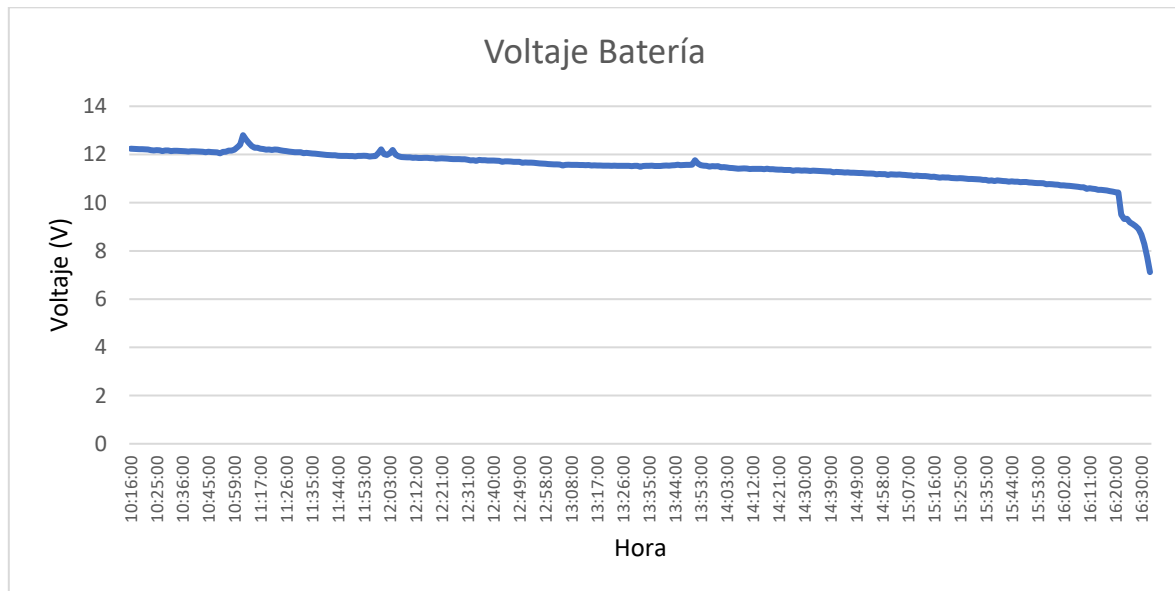


Fig. 4.113 Evolución del proceso carga-descarga en cielo nublado.

Los resultados obtenidos durante la prueba coinciden con los cálculos realizados en la sección 4.2.1.1. A partir de las 16h20, se registra un alto nivel de nubosidad, lo que impide que el panel alcance su potencia máxima. Como consecuencia, la potencia que entrega el panel es menor a la necesaria para mantener el sistema estable sin que se descargue.

Adicionalmente, se detecta un incremento en la temperatura de la batería cuando el voltaje llega a valores iguales o inferiores a 10 V. Este aumento térmico puede comprometer la integridad del componente, por lo que se determina establecer un umbral de seguridad de 11 V como punto de apagado automático de la Raspberry Pi. De esta forma, también se posee el nivel de carga suficiente para alimentar el controlador de carga solar, el cual mantiene un consumo residual de 23,5 mA. Si se trabajara con un umbral inferior a 11 V, se incrementaría el riesgo de una descarga profunda, situación que acorta la vida útil de la batería.

Con esta nueva configuración del umbral, el tiempo operativo del sistema registrado en la prueba se reduce a 5 horas con 10 minutos aproximadamente. No obstante, al trabajar en condiciones de cielo despejado, el tiempo de funcionamiento del sistema aumenta considerablemente, como se muestra en la Fig. 4.114. En este caso, la batería tiene una capacidad de trabajo de 9 horas aproximadamente.

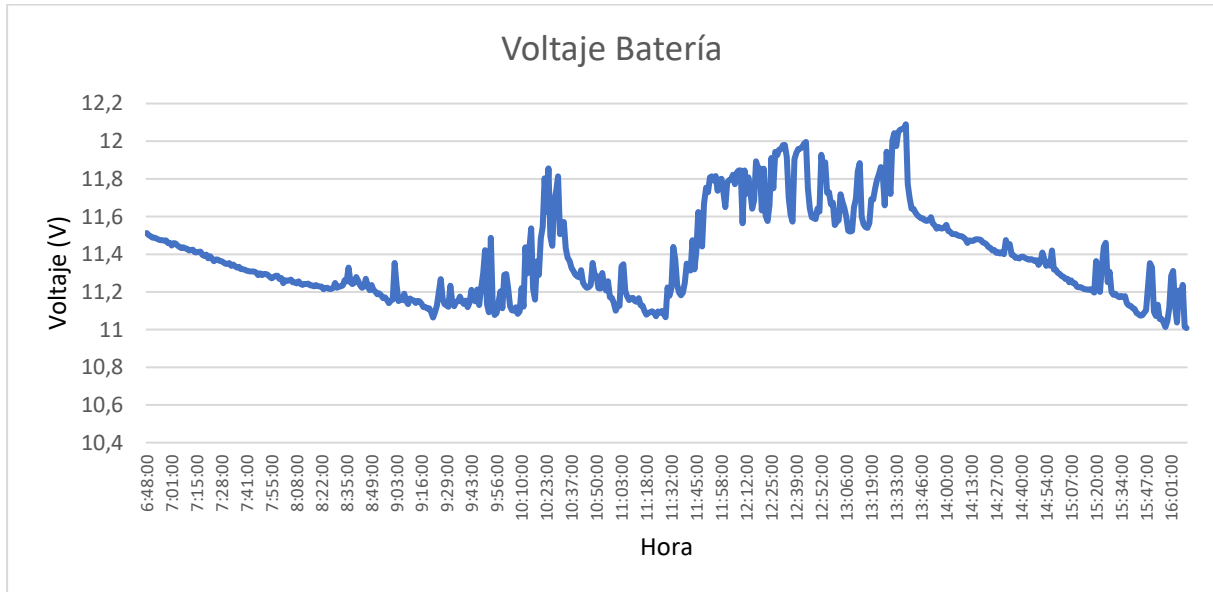


Fig. 4.114 Evolución del proceso carga-descarga en cielo despejado.

CONCLUSIONES

Se ha desarrollado un tótem medidor de variables ambientales diseñado para espacios públicos.

El sistema permite a los usuarios visualizar en tiempo real los datos actuales de temperatura atmosférica, humedad relativa, calidad del aire e índice de calor, a través de la interfaz interactiva presente en la pantalla del tótem y en la aplicación web para los dispositivos móviles.

En el mercado ecuatoriano no existe alguna empresa que ofrezca dentro de su catálogo regular un tótem informativo medidor de condiciones ambientales. A nivel internacional, la dificultad de adquirir este producto permanece. La mayoría de los productos disponibles corresponden a estaciones meteorológicas diseñadas para uso científico, las cuales generalmente miden temperatura atmosférica, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, radiación solar y presión barométrica, pero no están diseñadas para informar al público general.

El prototipo desarrollado cumple con el alcance estipulado, soportando satisfactoriamente condiciones climáticas adversas, como lluvia, polvo y exposición solar directa, sin comprometer su funcionamiento debido al diseño mecánico que presenta. El sistema electrónico del dispositivo funciona de manera independiente de la red eléctrica pública, gracias a la instalación de un panel solar que alimenta una batería interna recargable. El sistema computacional del dispositivo se basa en la interfaz gráfica desarrollada en Python y en la conexión Wi-Fi, mediante la cual se transfieren los datos recolectados hacia la plataforma Firestore. Esto permite mostrar en tiempo real las variables medidas a través de una PWA.

Las pruebas de funcionamiento desarrolladas indican una baja latencia, lo que garantiza una fluidez adecuada en la visualización de los datos en la PWA. Con respecto a las mediciones de temperatura y humedad realizadas, se concluye que tienen un elevado nivel de precisión y exactitud, debido a que los datos generados por el tótem son altamente hiperlocales, reflejando con fidelidad las condiciones del entorno en el que se encuentra. Esto se confirma con las

mediciones de calidad del aire e índice de radiación UV, las cuales son sensibles a eventos locales, como nubosidad o presencia de tráfico vehicular. Por último, se ha determinado que el tiempo de funcionamiento del dispositivo es adecuado, siendo capaz de operar de forma continua durante aproximadamente 5 horas bajo condiciones de cielo nublado y superando este límite en condiciones de cielo despejado. Estos rangos resultan efectivos para cubrir todas las franjas horarias críticas de irradiancia solar.

RECOMENDACIONES

Para asegurar un buen rendimiento del sistema a lo largo del día, se sugiere encender el tótem a partir de las 10h00. De este modo, el sistema puede cargarse por un tiempo aproximado de 3 horas, lo que contribuye a un mejor desempeño en su funcionamiento.

Aunque el sistema de control ejecuta un apagado automático al detectar un nivel bajo de voltaje, es importante apagar manualmente el tótem utilizando el interruptor de llave. Esto evita que se produzcan descargas profundas de la batería debido a un consumo residual por parte de la Raspberry Pi y la pantalla.

El tótem se debe instalar en un lugar donde exista una buena señal de internet Wi-Fi. Una conexión estable es crucial para el envío de datos a Firestore y su posterior visualización en la aplicación web.

Por último, se deben realizar limpiezas periódicas del panel solar y de la cubierta acrílica del sensor de radiación ultravioleta, especialmente después de un periodo de lluvia. La presencia de polvo o agua sobre las superficies mencionadas puede afectar la potencia del panel en el proceso de carga y la precisión de las mediciones en la ejecución del programa.

TRABAJOS FUTUROS

Se propone considerar la incorporación de nuevas variables de medición, según el entorno y el contexto de aplicación del tótem. En entornos agrícolas se podrían integrar sensores de velocidad del viento o de nivel de precipitación para ampliar la funcionalidad del sistema.

Por otro lado, se plantea usar los datos guardados en Firestore para la realización de análisis del clima o crear modelos que ayuden a predecir condiciones ambientales, aprovechando la información histórica que el tótem recopila. También se podría ampliar la conexión del sistema con otras estaciones meteorológicas o dispositivos de medición, con el fin de sumar más datos y lograr un alcance de medición más amplio.

Por último, existe la posibilidad de incorporar algoritmos de inteligencia artificial para optimizar el procesamiento, análisis e interpretación de los datos. De esta forma, se pueden generar alertas o recomendaciones puntuales para varios casos acorde a las condiciones climáticas y médicas de cada individuo.

REFERENCIAS

- [1] H. G. Vásquez Villavicencio, “Prevención del impacto de la radiación solar mediante un solmáforo aplicado en el ‘Centro de Desarrollo Infantil Primeros Pasos,’” Universidad Católica de Cuenca, Cuenca, 2019. Accessed: Oct. 28, 2023. [Online]. Available: <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/8241>
- [2] N. Ballesteros Zurita, J. Melena Zapata, and A. Narváez Olalla, “Perfil epidemiológico del cáncer de piel en Ecuador. Estudio observacional descriptivo.,” *Revista Médica Vozandes*, vol. 34, no. 1, pp. 34–35, Jul. 2023, doi: 10.48018/rmv.v34.i1.3.
- [3] E. Jácome, “En Quito aumentó la radiación solar, pero los solmáforos no funcionan,” Ecuador, Nov. 27, 2022. Accessed: Nov. 07, 2023. [Online]. Available: <https://www.elcomercio.com/actualidad/quito/quito-aumento-radiacion-solar-solmaforos.html>
- [4] F. I. Chango Tituaña, “Solmáforos para el monitoreo y alertas a personas, sobre los niveles de radiación solar en unidades educativas de la ciudad de Ambato,” Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2019. Accessed: Oct. 28, 2023. [Online]. Available: <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/30080>
- [5] P. M. Cabezas Lluglluna and D. S. Tufiño Chicaiza, “Evaluación de la contaminación atmosférica, índice de vegetación y concentración de metales en zonas cercanas a estaciones de monitoreo en la Ciudad de Quito,” Universidad Politécnica Salesiana, Quito, 2023. Accessed: Nov. 10, 2023. [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/25998>
- [6] Y. Champa Huamán, “Evaluación de la contaminación del aire (partículas de polvo, CO₂) con sensores de bajo costo en el Mercado Internacional Túpac Amaru, Juliaca-Perú,” Universidad Peruana Unión, Perú, 2019. Accessed: Nov. 10, 2023. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/20.500.12840/5108>
- [7] C. S. Oto Narváez, “Implementación de estaciones de calidad de aire de bajo costo para Ibarra,” Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador, 2024. Accessed: Nov. 03, 2025. [Online]. Available: <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/16710>
- [8] G. A. Yugcha Quiquintuña, “Sistema eléctrico de monitoreo de radiación ultravioleta para la prevención de quemaduras solares en la piel de agricultores,” Universidad

- Técnica de Ambato, 2023. Accessed: Nov. 03, 2023. [Online]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/38360>
- [9] R. E. García Avila, W. M. Quispe Herhuay, and J. J. Silva Ganto, “Diseño e implementación de un medidor de irradiancia solar con registro de datos basado en arquitectura de código abierto,” Universidad Continental, 2021. Accessed: Nov. 04, 2023. [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/20.500.12394/10427>
- [10] S. D. Guamá Tequiz and D. A. Vargas Alban, “Construcción de un módulo de medición de radiación solar,” Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2020. Accessed: Nov. 03, 2023. [Online]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21110>
- [11] D. Y. Hinestroza Conrado, “Sistema de monitoreo de variables ambientales para gestionar alertas tempranas en la Ciudad de Bogotá,” Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, 2019. Accessed: Nov. 04, 2023. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/11349/15600>
- [12] K. R. Orozco Jaramillo, “Diseño e implementación de un sistema para el monitoreo de los niveles de radiación solar en el campus de la Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables de la Universidad,” Universidad Nacional de Loja, Loja, 2019. Accessed: Nov. 04, 2023. [Online]. Available: <http://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/22682>
- [13] M. Parra, E. Guillen, F. Le Mouél, and O. Carrillo, “Sistema colaborativo de medición de parámetros ambientales basado en IoT,” Bogotá, Aug. 2020. [Online]. Available: <https://inria.hal.science/hal-02915701>
- [14] C. Muñoz, G. A. Morales, and V. F. Miramá, “Aplicación de una red de sensores inalámbricos en un ambiente de trabajo industrial,” *Revista Espacios*, vol. 41, no. 31, pp. 127–128, Aug. 2020, [Online]. Available: <https://www.revistaespacios.com>
- [15] R. Boriba Makuere, “IoT en el sector energético: software de monitorización y análisis de variables ambientales y energéticas,” Universidad Politécnica de Catalunya, 2020. Accessed: Nov. 04, 2023. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/2117/182796>
- [16] I. S. Ching, A. J. Cárdenas Rivero, R. S. López, and J. A. Portal Díaz, “Monitoreo de parámetros ambientales en casas de cultivo a través de aplicación IoT,” *Revista Cubana de Transformación Digital*, vol. 1, no. 1, pp. 53–54, Apr. 2020, Accessed: Nov. 04, 2023. [Online]. Available: <https://rctd.uic.cu/rctd/article/view/46>

- [17] W. Huamán Cones, “Evaluación de un sistema de adquisición de datos del índice UV solar usando Arduino y Labview (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) en el Distrito de El Tambo - Huancayo,” UNIVERSIDAD ALAS PERUANA, Perú, 2018. Accessed: Nov. 03, 2023. [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/20.500.12990/5740>
- [18] P. Buitrago, R. Camacho Briñez, J. C. Tejada, P. Marmolejo, and O. A. Jaramillo, “Diseño de un CanSat para medición de variables ambientales,” *Publicaciones e Investigación*, vol. 13, no. 2, pp. 31–32, Jul. 2019, doi: 10.22490/25394088.3468.
- [19] Y. A. Burbano Prado, “Sistema embebido móvil de reconocimiento de patrones de calidad del aire en la ciudad de Ibarra,” Universidad Técnica del Norte, Ibarra, 2019. Accessed: Dec. 23, 2023. [Online]. Available: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/9155>
- [20] F. Verduga-Urdánigo, J. Cevallos-Macías, and R. Solórzano-Cadena, “Construcción de un sistema de bajo costo para la medición de rayos ultravioleta basado en Internet de las Cosas,” *REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINARIA ARBITRADA “YACHASUN,”* vol. 4, no. 6 Edición Especial, pp. 73–92, May 2020, doi: 10.46296/yc.v4i6edesp.0030.
- [21] M. L. Calva and A. M. Ramirez, “Implementación de redes neuronales artificiales (RNA) para clasificar niveles de pm2.5 en un sistema de alarma ambiental,” *RICT Revista de Investigación Científica, Tecnológica e Innovación*, vol. 2, no. 1, pp. 63–73, 2024, Accessed: Jan. 03, 2025. [Online]. Available: <https://revista.ccaite.com/index.php/ridt/article/view/104>
- [22] F. Pérez Maquieira, “Integración y test de módulos de medición de partículas PM2.5 y PM10 para la valoración de la calidad del aire,” Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2018. Accessed: Nov. 03, 2023. [Online]. Available: <https://oa.upm.es/50268/>
- [23] M. A. Verdugo Rivera, “Propuesta de diseño de un dispositivo de bajo coste para la medición de la calidad del aire,” Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España, 2017. Accessed: Nov. 03, 2023. [Online]. Available: <https://portalcientifico.upm.es/es/ipublic/item/9870554>
- [24] C. A. Zúñiga Miranda and J. K. Granda Lucas, “Diseño e implementación de un prototipo medidor de radiación ultra violeta alimentado por paneles solares,”

- Universidad Politécnica Salesiana , Guayaquil, Ecuador, 2019. Accessed: Nov. 03, 2023. [Online]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17253>
- [25] Met One Instruments Powered by ACOEM, “Sistema de monitoreo de calidad del aire AQ EAGLE,” Met One Instruments Powered by ACOEM. Accessed: Jan. 25, 2025. [Online]. Available: <https://metone.com/products/aq-eagle-air-monitoring-system/>
- [26] Campbell Scientific, “WxPRO Estación meteorológica básica de nivel de investigación,” Campbell Scientific. Accessed: Jan. 25, 2025. [Online]. Available: <https://www.campbellsci.com/wxpro>
- [27] Firstrate Sensor, “Estación meteorológica de monitoreo del entorno meteorológico FST100-QXZ-01,” Firstrate Sensor. Accessed: Jan. 25, 2025. [Online]. Available: <https://www.firstratesensor.com/product/FST100-QXZ-01-Meteorological-Environment-Monitoring-Weather-Station-405.html>
- [28] Hunan Rika Electronic Tech, “Estación meteorológica automática inalámbrica, Monitor meteorológico con sensores al aire libre, RK900-01, RS485, GPRS,” Alibaba. Accessed: Jan. 25, 2025. [Online]. Available: https://www.alibaba.com/product-detail/RK900-01-RS485-GPRS-Wireless-Automatic_60501912147.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_title.346913a0jtoQQb
- [29] Eva. Rehfuss and World Health Organization., *Global solar UV index : a practical guide*. World Health Organization, 2002.
- [30] Naylamp Mechatronics, “Módulo sensor de luz ultravioleta (UV) ML8511.” Accessed: Dec. 23, 2023. [Online]. Available: <https://naylampmechatronics.com/sensores-luz-y-sonido/169-modulo-sensor-de-luz-ultravioleta-uv-ml8511.html>
- [31] Electronilab, “VEML6070 – Sensor de índice UV digital – luz ultravioleta.” Accessed: Dec. 23, 2023. [Online]. Available: <https://electronilab.co/tienda/veml6070-sensor-digital-luz-ultravioleta/>
- [32] Sumozade Robótica, “SI1145 Digital UV Index / IR / Visible Light Sensor.” Accessed: Dec. 24, 2023. [Online]. Available: <https://www.sumozade.com/es/product/indice-si1145-digital-uv-ir-sensor-de-luz-visible>

- [33] Solectro, “Sensores de calidad del aire - Parámetros, niveles y características.” Accessed: Dec. 25, 2023. [Online]. Available: <https://solectroshop.com/es/blog/sensores-de-calidad-del-aire-parametros-niveles-y-caracteristicas-n79>
- [34] V. Suárez Díaz, “Informe de la Calidad del Aire de Quito 2013,” Quito, Mar. 2014. Accessed: Dec. 25, 2023. [Online]. Available: <https://aqicn.org/images/aqi-scales/Quito-ICA-2013.pdf>
- [35] Naylamp Mechatronics, “Sensor de polvo Sharp GP2Y1010AU0F.” Accessed: Dec. 25, 2023. [Online]. Available: <https://naylampmechatronics.com/sensores-gas/353-sensor-de-polvo-sharp-gp2y1010au0f.html>
- [36] M. Del Campo, “Detector de partículas de polvo en el aire con sensor GP2Y10.” Accessed: Dec. 25, 2023. [Online]. Available: <https://panamahitek.com/detector-de-particulas-de-polvo-en-el-aire-con-sensor-gp2y10/>
- [37] Electrónica THIDO, “Módulo MQ-7 Sensor De Monóxido De Carbono.” Accessed: Dec. 25, 2023. [Online]. Available: <https://www.electronicathido.com/detallesProducto.php?id=M2pDRmhMTG80RFh4d0ZXVDh4QXIVQT09>
- [38] Geek Factory, “MQ-7 Sensor de gas monóxido de carbono”, Accessed: Dec. 25, 2023. [Online]. Available: <https://www.geekfactory.mx/tienda/sensores/mq-7-sensor-de-monoxido-de-carbono/>
- [39] Naylamp Mechatronics, “Tutorial sensores de gas MQ2, MQ3, MQ7 Y MQ135.” Accessed: Dec. 25, 2023. [Online]. Available: https://naylampmechatronics.com/blog/42_tutorial-sensores-de-gas-mq2-mq3-mq7-y-mq135.html
- [40] Naylamp Mechatronics, “Sensor MQ-135 gas calidad de aire.” Accessed: Dec. 25, 2023. [Online]. Available: <https://naylampmechatronics.com/sensores-gas/73-sensor-mq-135-gas-calidad-aire.html>
- [41] Solectro, “Nova PM Sensor SDS011 - Sensor de calidad del aire - alta precisión láser PM2.5 Módulo test polvo,” Sensores calidad del aire. Accessed: Jun. 01, 2025. [Online]. Available: <https://solectroshop.com/es/sensores-calidad-del-aire/5228-nova-pm-sensor-sds011-sensor-de-calidad-del-aire-alta-precision-laser-pm25-modulo-test->

polvo.html?srsId=AfmBOooFH0KSsSMN1fiNdKe7hwq-
CwfYtM7z1HOzo1hsk6cHftFIEECy

- [42] Naylamp Mechatronics, “Sensor de temperatura y humedad relativa DHT11.” Accessed: Dec. 26, 2023. [Online]. Available: <https://naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/57-sensor-de-temperatura-y-humedad-relativa-dht11.html>
- [43] Naylamp Mechatronics, “Sensor de temperatura y humedad relativa DHT22 (AM2302).” Accessed: Dec. 26, 2023. [Online]. Available: <https://naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/58-sensor-de-temperatura-y-humedad-relativa-dht22-am2302.html>
- [44] Venco Electrónica, “Qué es ZigBee, cómo funciona y características principales.” Accessed: Dec. 26, 2023. [Online]. Available: <https://www.vencoel.com/que-es-zigbee-como-funciona-y-caracteristicas-principales/>
- [45] Intel, “¿Cómo funciona la tecnología Bluetooth?” Accessed: Dec. 26, 2023. [Online]. Available: <https://www.intel.la/content/www/xl/es/products/docs/wireless/how-does-bluetooth-work.html#:~:text=La%20tecnolog%C3%ADa%20Bluetooth%20conecta%20las,frecuencia%20de%202%2C4%20GHz.>
- [46] IONOS, “¿Qué es Bluetooth? Toda la información sobre el estándar inalámbrico.” Accessed: Dec. 26, 2023. [Online]. Available: <https://www.ionos.es/digitalguide/servidores/know-how/que-es-bluetooth/>
- [47] Cisco, “¿Qué es Wi-Fi?” Accessed: Dec. 26, 2023. [Online]. Available: https://www.cisco.com/c/es_mx/products/wireless/what-is-wifi.html
- [48] Departamento Universitario Obrero Campesino de la Pontificia Universidad Católica de Chile (Duoc UC), “Investigación Aplicada.” Accessed: Jan. 03, 2024. [Online]. Available: <https://bibliotecas.duoc.cl/investigacion-aplicada>
- [49] F. Hernández, *Investigación documental y comunicación científica*, 1st ed. Santo Domingo, República Dominicana: Universidad Abierta para Adultos (UAPA), 2001. Accessed: Jan. 02, 2024. [Online]. Available: <https://elibro.net/es/ereader/utnorte/175600?page=21>

- [50] R. Hernández Sampieri, C. Fernández Collado, and M. del P. Baptista Lucio, *Metodología de la investigación*, 6th ed. México: McGraw-Hill, 2014.
- [51] C. R. Galarza, “Diseños de investigación experimental,” *CienciAmérica*, vol. 10, pp. 1–7, Feb. 2021, doi: 10.33210/ca.v10i1.356.
- [52] Moviltronics, “Regulador carga solar 20A.” Accessed: Jun. 20, 2025. [Online]. Available: <https://moviltronics.com/tienda/regulador-carga-solar-20a/?srsltid=AfmBOopnB7IoouKMYnLdHEktPSUn2PNJO2DEiwV9xxO4jrrCkSOJszQE>
- [53] TETTSA, “Módulo regulador de voltaje STEP DOWN XL4015E1 DC-DC 4-38V a 1.25V-36V 5A.” Accessed: Jun. 18, 2025. [Online]. Available: <https://tienda.tettsa.gt/producto/modulo-regulador-step-down-de-voltaje-xl4015e1-dc-dc-4-38v-a-1-25v-36v-5a/>
- [54] Jameco ValuePro, “Jameco ValuePro Llave de interruptor de bloqueo de llave redonda SPST Off-ON 2341.” Accessed: Jun. 01, 2025. [Online]. Available: https://www.amazon.com/-/es/Jameco-ValuePro-interruptor-bloqueo-redonda/dp/B0CT5VSG3G/ref=zg_bs_g_5739466011_d_scl_6/146-9572143-4219828?psc=1
- [55] Powest, “Baterías Powest.” Accessed: Jun. 01, 2025. [Online]. Available: <https://powest.com/producto/baterias-powest-gs/>
- [56] Orellana, “Módulo Sensor Humedad/Temperatura DHT22/AM2302 blanco.” Accessed: Jun. 01, 2025. [Online]. Available: <https://orellanaelec.com/producto/modulo-sensor-humedad-temperatura-dht22-am2302-blanco/>
- [57] Grupo Electrostore, “Pantalla 10,1” TFT 1280*800 LCD HDMI para Raspberry Pi con case.” Accessed: Jun. 01, 2025. [Online]. Available: <https://grupoelectrostore.com/shop/placas-para-programacion/raspberry/accesorios-para-raspberry/pantalla-101-tft-1280800-lcd-hdmi-para-raspberry-pi-con-case/>
- [58] Raspberry Pi, “Raspberry Pi 3 Modelo B.” Accessed: Jun. 01, 2025. [Online]. Available: <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-3-model-b/>
- [59] Naylamp Mechatronics, “Raspberry Pi 3B [descontinuado].” Accessed: Jun. 24, 2025. [Online]. Available: <https://naylampmechatronics.com/raspberry-pi/255-raspberry-pi-3->

b.html#:~:text=El%20Raspberry%20Pi%203B%20es,podemos%20utilizar%20el%20mismo%20case.

- [60] Arduino, “Arduino Mega 2560 Rev3.” Accessed: Jun. 24, 2025. [Online]. Available: <https://store.arduino.cc/products/arduino-mega-2560-rev3?srltid=AfmBOooqRmTyR4dPgFeUEzg5jBfBlJ6wwUaHfp8tFyjObHqQvtLSUd2k>
- [61] Python, “tkinter — Python interface to Tcl/Tk.” Accessed: Jun. 24, 2025. [Online]. Available: <https://docs.python.org/es/3.13/library/tkinter.html>
- [62] Python, “Documentación de Python 3.13.5.” Accessed: Jun. 25, 2025. [Online]. Available: <https://docs.python.org/3/>
- [63] National Weather Service, “Riesgo de Calor experimental del Servicio Nacional de Meteorología (NWS, por sus siglas en inglés).” Accessed: Jan. 21, 2025. [Online]. Available: <https://www.wpc.ncep.noaa.gov/heatrisk/esp/>
- [64] Y.-C. Lu and D. M. Romps, “Extending the Heat Index,” *Revista de meteorología y climatología aplicada*, vol. 61, no. 10, Sep. 2022, doi: <https://doi.org/10.1175/jamc-d-22-0021.1>.
- [65] Flutter, “Flutter documentation.” Accessed: Jun. 25, 2025. [Online]. Available: <https://docs.flutter.dev/>
- [66] Yuecoom, “Tornillo autoperforante, 50 piezas M4.2 Truss Head Tornillos autorroscantes autoperforantes Juego de tornillos de cola de perforación Hojas delgadas Azulejo de acero de color(M4.2 * 19(50PCS)).” Accessed: Jun. 01, 2025. [Online]. Available: <https://www.amazon.com.mx/autoperforante-Tornillos-autorroscantes-autoperforantes-perforaci%C3%B3n/dp/B0B6PSCW9G>
- [67] QZOONVNJ, “Tornillos de cabeza de botón M4-0.028 x 0.394 in, acero inoxidable 304 18-8, unidad hexagonal Allen, rosca completa, acabado brillante, tornillo hexagonal de máquina, 100 unidades (M4x10).” Accessed: Jun. 01, 2025. [Online]. Available: <https://www.amazon.com/-/es/Tornillos-cabeza-bot%C3%B3n-m4/dp/B09T9WYP4J?th=1>

- [68] Talleres Solano, “Tuerca M4 DIN 985 8.8 autoblocantes.” Accessed: Jun. 01, 2025. [Online]. Available: <https://talleressolano.com/es/acero-88/1862-tuerca-m4-din-985-88-autoblocantes.html>
- [69] KYWI, “Rejilla de ventilación CUADRADA de 20 x 20 cm con estructura de aluminio de 1 vía para reingreso de aire. - BRINOX.” Accessed: Jun. 01, 2025. [Online]. Available: https://www.kywi.com.ec/rejilla-ventilacion-cuadra-20x20-blanc/p?srsltid=AfmBOoq9NYCOFSzaFRR1uDyOG01BDY49kkdGcbUeF_VNA_vsn93etbJ0
- [70] Ferrelek, “Perno Expansivo con camisa 3/8” (9.5mm) x 2”.” Accessed: Jun. 01, 2025. [Online]. Available: <https://ferrelek.com/producto/perno-expansivo-con-camisa-3-8%C2%A8-9-5mm-x-2/>
- [71] KYWI, “Rejilla de ventilación lacada de aluminio resistente a la intemperie. - BRINOX.” Accessed: Jun. 01, 2025. [Online]. Available: <https://www.kywi.com.ec/rejilla-de-ventilacion-de-aluminio-lacado-resistente-a-la-intemperie-ideal-para-closets-habitaciones-cocinas-2/p?srsltid=AfmBOoomqIn5JFRdaxVvbPwpyKXNxMgMxvzmJyOSzaM0WZHQVUC0zKzY>
- [72] KYWI, “Rejilla Pvc Desague 50 Mm Rival - RIVAL.” Accessed: Jun. 01, 2025. [Online]. Available: <https://www.kywi.com.ec/rejilla-pvc-desague-50-mm-rival/p>
- [73] Yicheng2021 Store, “Remaches de cabeza redonda, herramientas de remache sólido de aluminio y sujetadores M5 M6.” Accessed: Jun. 01, 2025. [Online]. Available: <https://es.aliexpress.com/item/1005002494128778.html>
- [74] Casa Myers, “Tuerca hexagonal métrica galvanizada M4 clase 8 4mm 20 piezas.” Accessed: Jun. 01, 2025. [Online]. Available: <https://www.casamyers.com.mx/item/50901500>
- [75] Tienda Cerámica, “Tornillo cilíndrico M4X10.” Accessed: Jun. 01, 2025. [Online]. Available: <https://tiendaceramica.com.ec/product/tornillo-cilindrico-m4x10/>
- [76] KYWI, “Angular para esquina de 2”. Fabricado en acero acabado en plata. Incluye tornillería. pack x 5 - PROSOURCE.” Accessed: Jun. 01, 2025. [Online]. Available: <https://www.kywi.com.ec/angulo-de-refuerzo-5-8-x-2-4u/p>

- [77] Grupo Electrostore, “Módulo relé 5V 1 canal con optoacoplador (azul).” Accessed: Jun. 22, 2025. [Online]. Available: <https://grupoelectrostore.com/shop/modulos-y-shields/modulos-rele/modulo-rele-5v-1-canal-con-optoacoplador-azul/>
- [78] iUniker, “[5V 3A 15W] Funda iUniker Raspberry Pi 3, fuente de alimentación con interruptor para Pi 3 B+ (certificación UL).” Accessed: Jun. 14, 2025. [Online]. Available: https://www.amazon.com/Raspberry-iUniker-alimentaci%C3%B3n-interruptor-certificaci%C3%B3n/dp/B0B79JHSFW/ref=sr_1_1_sspa?adgrpid=81801918615&dib=eyJ2IjoiMSJ9.LYeuEmdaFtNixL0GbngL0IQ5IXwxi6KoLUt2Rgh-eD8_szSaFcyOtaHX12Jqjw9IwjRtG692k8jN4CQr4RYwSqL1yd0DI0qyb01Y7lMsfqf-RNp9V_cKial0c8cyQFkM4Akc7YNEZ7VbijUtHUB8RpocQs8BTxE8xI7tG9PG6WtuZyLKwn2c0cUfndtIRVbPxJehiBLT6W1tFB9Vwk48VM_P2NNKdbBx9dkTy54.W8v58kyFvSL2C-jtnYtsc9aI3aAhr31RYDP8HAm3WAQ&dib_tag=se&hvadid=585362546850&hvdev=c&hvlocphy=9076633&hvnetw=g&hvqmt=b&hvrnd=1529150234730906110&hvtargid=kwd-350364048847&hydadcr=22309_13333543&keywords=raspberry+pi+3+case&qid=1728770844&sr=8-1-spons&sp_csd=d2lkZ2V0TmFtZT1zcF9hdGY&psc=1
- [79] KYWI, “Tapon Pvc H Desague 50Mm Plastigama - PLASTIGAMA.” Accessed: Jun. 01, 2025. [Online]. Available: <https://www.kywitiendaenlinea.com/tapon-pvc-h-desague-50mm-plastigama/p>
- [80] The Weather Company, “The Weather Channel.” Accessed: May 07, 2025. [Online]. Available: <https://weather.com/es-HN/tiempo/hoy/l/aa34a634f683251bd3b60e3a4cb03f6ae0b202a5826fd61ef931f3b294323090>
- [81] The Weather Company, “The Weather Channel.” Accessed: May 07, 2025. [Online]. Available: <https://weather.com/es-HN/forecast/air-quality/l/aa34a634f683251bd3b60e3a4cb03f6ae0b202a5826fd61ef931f3b294323090>
- [82] The Weather Company, “Sistema Global de Pronóstico Atmosférico de Alta Resolución (GRAF).” Accessed: May 07, 2025. [Online]. Available: <https://www.weathercompany.com/global-high-resolution-atmospheric-forecasting/>

- [83] Provincias Ecuador, “Provincias del Ecuador y sus Capitales.” Accessed: Jun. 25, 2025. [Online]. Available: <https://provinciasecuador.com/>
- [84] J. Huaca Pinchao and E. Ormeño Mejía, *Mediciones de radiación UV-B en Ibarra-Ecuador y si relación con el cambio climático*. Madrid, 2018.

ANEXOS

Anexo A

Manual de usuario

- **Introducción**

El Tótem Medidor de Condiciones Ambientales está diseñado para informar a los usuarios sobre los niveles de radiación UV, temperatura atmosférica, humedad relativa, calidad del aire (en función de las concentraciones de PM10 y PM2,5) y el índice de calor. Los valores se actualizan en tiempo real y pueden ser consultados a través de una Aplicación Web Progresiva (PWA), accesible mediante un código QR visible en el tótem. La plataforma también ofrece recomendaciones contextualizadas, elaboradas en función de los valores ambientales medidos en el momento.

- **Características del dispositivo**

El tótem medidor de condiciones ambientales es apto para trabajar en exteriores, soportando condiciones como lluvia, chorros de agua, polvo y exposición solar directa. El dispositivo cuenta con una pantalla táctil LCD, a través de la cual el usuario puede interactuar con la interfaz gráfica.

El tótem presenta un funcionamiento autónomo gracias al suministro energético de un panel solar, el cual carga la batería interna de 12 V. Además, el sistema cuenta con una Aplicación Web Progresiva (PWA) accesible desde cualquier dispositivo móvil. Esta aplicación puede ser abierta por los usuarios mediante el escaneo de un código QR ubicado en el cuerpo del tótem, facilitando el acceso remoto a la información ambiental medida dentro de la franja horaria de las 10h00 hasta las 14h00.

- **Instrucciones de uso**

- **Encendido y apagado del equipo**

El sistema se enciende y apaga mediante un interruptor de llave, lo que permite un control seguro del encendido del dispositivo. No obstante, es fundamental que, antes de apagar el sistema, el usuario cierre correctamente el programa en ejecución, apague la placa a través de la pantalla táctil y espere 10 segundos antes de cambiar el estado del interruptor. Este procedimiento evita la interrupción repentina de procesos y previene posibles daños a la placa del circuito, contribuyendo a guardar la integridad del sistema y a prolongar su vida útil.

Además, cuando la batería baja de los 11 V, el sistema activa automáticamente un mecanismo de protección: cierra la aplicación y apaga la placa de forma segura, evitando que la batería se a niveles peligrosos. Después de esto, es importante que el usuario apague el sistema desde el interruptor, ya que, aunque la placa esté apagada, sigue existiendo un consumo mínimo de energía que, con el tiempo, podría afectar la batería.

➤ Manejo de la interfaz del tótem

La interfaz del tótem se actualiza de forma periódica cada 2 segundos. Si el usuario desea consultar las recomendaciones que se brindan en base a los valores del índice UV, la calidad del aire o el índice de calor debe presionar el ícono mostrado en la Fig. 1.



Fig. 1 Icono para recomendaciones.

Cuando el usuario selecciona el ícono, la interfaz reconoce a qué bloque pertenece y, con base en eso, muestra las recomendaciones correspondientes según los valores de esa variable ambiental. En la Figura 2 se puede ver un ejemplo de este

comportamiento, donde la interfaz adapta el contenido de las sugerencias dependiendo de la información que se esté consultando.

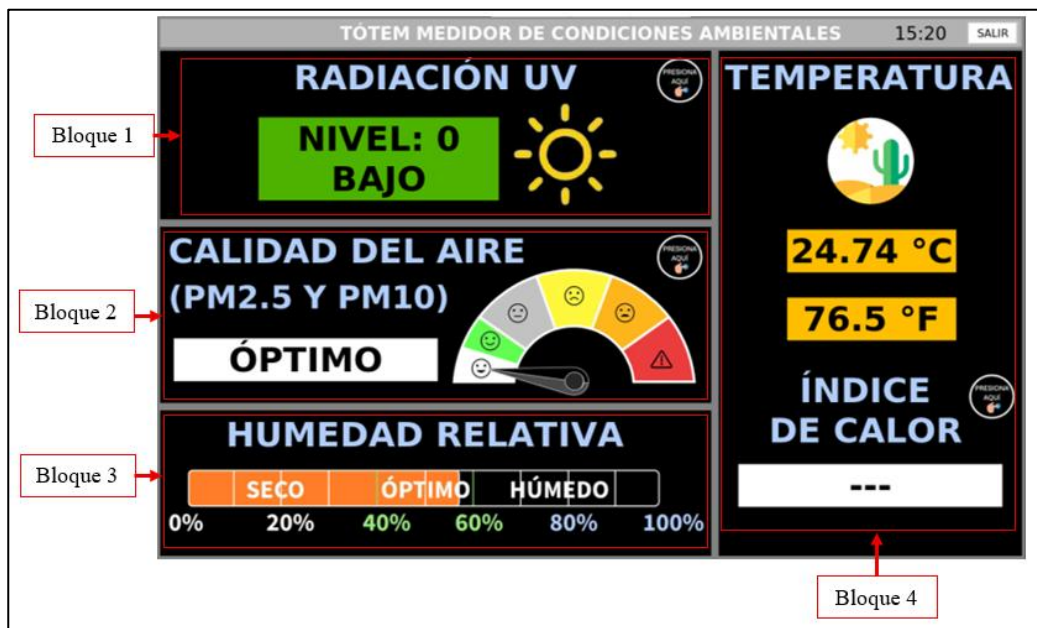


Fig. 2 Bloques de la interfaz gráfica del tótem.

➤ Salida del programa y apagar placa

Para salir de la aplicación, el usuario simplemente presiona el botón “Salir”, ubicado en la esquina superior derecha de la pantalla. En ese momento, el sistema pide una clave de acceso como medida de seguridad. Si la clave ingresada es correcta, el programa se cierra sin problemas. Este procedimiento se muestra en la Figura 3.

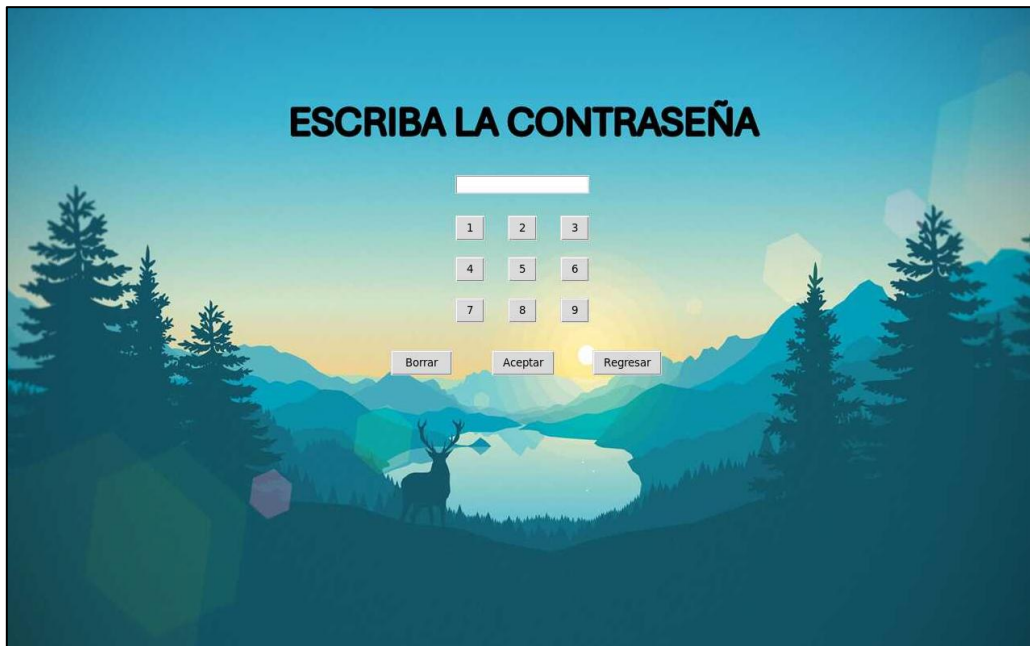


Fig. 3 Solicitud de clave para salir del programa.

Una vez que el programa se ha cerrado, el usuario debe apagar la placa de forma correcta. Para hacerlo, presiona el ícono de la frambuesa, que se encuentra en la esquina superior izquierda de la pantalla. Después, selecciona la opción “Shutdown...” ubicada al final del menú desplegable, y finalmente elige “Shutdown now” para completar el apagado. Este procedimiento puede verse en la Figura 4.

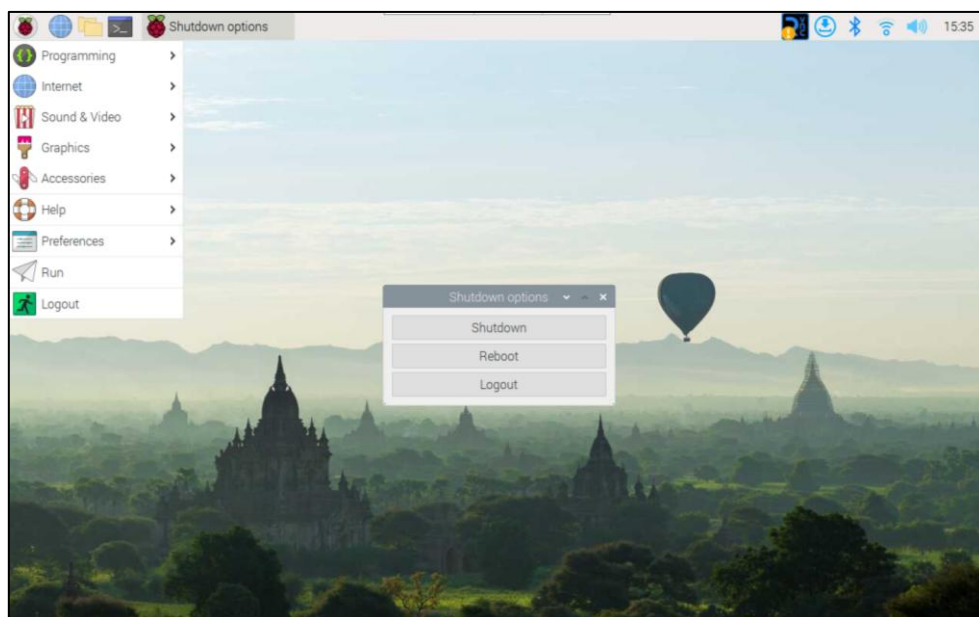


Fig. 4 Apagar placa.

➤ Acceso y manejo de PWA

Para acceder a la aplicación web móvil, el usuario debe escanear el código QR ubicado en la parte frontal del tótem, como se muestra en la Fig. 5. Esta acción redirige automáticamente al usuario hacia la página web correspondiente, donde podrá visualizar la información ambiental de forma detallada y en tiempo real.



Fig. 5 Código QR.

La aplicación web incluye cuatro botones ubicados en la parte inferior de la pantalla, que permiten al usuario ver los datos de distintas maneras, según lo que desee consultar. Cada botón da acceso a una pantalla diferente, y a continuación se detalla qué muestra cada una.

- ❖ **Botón “Tiempo real” (Fig. 6):** En esta pantalla se muestran los valores de temperatura, índice UV, calidad del aire (PM10 y PM2,5), humedad relativa e índice de calor. La información se actualiza cada 2 segundos, lo que le permite al usuario ver los datos en tiempo real.

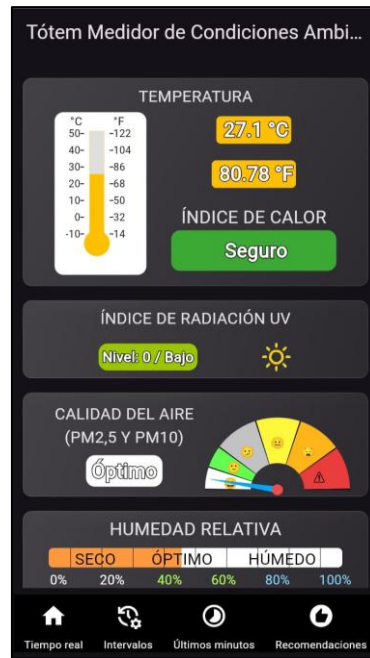


Fig. 6 Interfaz mostrada en sección “Tiempo real”.

- ❖ **Botón “Intervalos” (Fig. 7):** Esta pantalla muestra gráficas que reflejan cómo varían las diferentes variables ambientales medidas por el sistema, organizadas según distintas franjas horarias. De esta forma, el usuario puede observar cómo cambian los valores con el paso del tiempo y detectar posibles tendencias o comportamientos repetitivos en las mediciones.

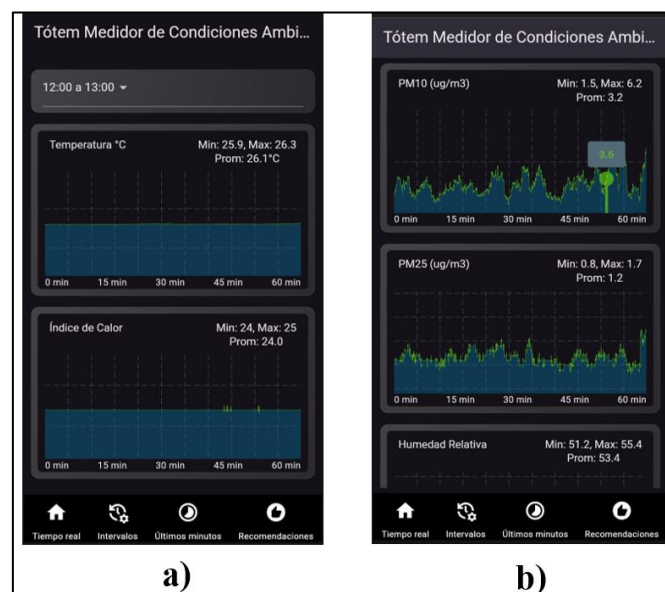


Fig. 7 Interfaz mostrada en sección “Intervalos”. a) Parte superior, b) Parte inferior

- ❖ **Botón “Últimos minutos” (Fig. 8):** Esta sección muestra un historial con los últimos datos registrados, agrupados en intervalos de 5, 10 y 15 minutos. Gracias a esta organización, el usuario puede consultar rápidamente las mediciones recientes y ver cómo han ido cambiando dentro de esos periodos de tiempo.

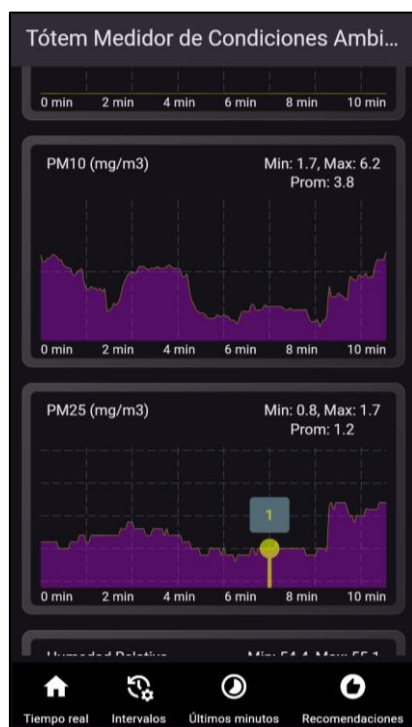


Fig. 8 Interfaz mostrada en sección “Últimos minutos”.

- ❖ **Botón “Recomendaciones” (Fig. 9):** Esta sección muestra las recomendaciones de salud emitidas en función de los valores registrados en la sección “Tiempo real”. Su propósito es orientar al usuario sobre las precauciones que debe considerar ante las condiciones ambientales actuales, con el fin de reducir riesgos para la salud según el entorno inmediato.



Fig. 9 Sección “Recomendaciones”. a) Recomendaciones para índice UV, b) Recomendaciones para índice de calor.

➤ Solución de problemas

Si al encender el tótem la pantalla muestra valores extraños o fuera de lo normal durante varios segundos (aproximadamente 15), lo más recomendable es cerrar la interfaz y reiniciar la placa seleccionando la opción “Reboot” en lugar de “Shutdown”. Con esto, el sistema reinicia sus procesos internos sin apagarse por completo, lo que suele resolver el problema de forma sencilla.

Ahora bien, si los valores que aparecen son muy altos y se mantienen así por más de 10 minutos, es posible que haya un problema con la conexión a tierra. En ese caso, conviene revisar si los componentes conectados a la PCB tienen su línea GND correctamente ubicada. Lo mejor es pasar esas conexiones directamente a los pines GND de la Raspberry Pi, ya que eso le da al sistema una referencia más estable. Aun así, es importante que la PCB siga conectada a tierra con la Raspberry, para que todo funcione sin errores.

Finalmente, si la alerta de bajo voltaje aparece constantemente, se recomienda verificar el voltaje de salida del regulador del circuito de potencia. Esto ayuda a

saber si la alimentación está dentro del rango correcto y evita que el sistema se apague de forma inesperada o se presenten fallos por falta de energía.

➤ **Mantenimiento básico**

Hay algunas tareas de mantenimiento básico que el usuario responsable del tótem puede y debe realizar con regularidad, ya que ayudan a mantener el sistema funcionando correctamente a lo largo del tiempo. Entre estas tareas se encuentran las siguientes:

- ❖ **Limpieza del panel solar y cubierta de acrílico del sensor UV:** Aunque el panel solar tiene una inclinación de casi 3 grados para evitar que el agua y la suciedad se acumulen, se debe realizar cada mes limpiezas del panel y de la cubierta de acrílico del sensor de radiación UV. De esta forma, se garantiza el correcto funcionamiento del dispositivo.
- ❖ **Limpieza de la pantalla:** La pantalla presenta una mica de protección, la cual no debe quitarse, sino que se debe usar un trapo seco o ligeramente húmedo para su limpieza.
- ❖ **Verificación del estado de la batería:** Se debe analizar el estado de la batería cada mes. Si este elemento presenta hinchazón, deformación, decoloración, quemaduras o fugas, se debe reemplazar inmediatamente.
- ❖ **Verificación del estado de la pintura del tótem:** En caso de que la capa de pintura de la estructura metálica presente un nivel avanzado de desgaste, se debe realizar una nueva aplicación de pintura con el fin de evitar la corrosión. Este mantenimiento también se estima con una frecuencia de una vez cada 2 años, o antes si las condiciones ambientales lo requieren.

➤ **Mantenimiento técnico**

Existen ciertos procesos de mantenimiento especializado que deben ser realizados únicamente por personal autorizado o el fabricante, debido a su complejidad y al riesgo que representan para el funcionamiento del sistema. Entre estos se incluye la revisión del estado de los componentes del circuito de potencia y consumo, la cual debe ejecutarse con una frecuencia anual, a fin de asegurar la integridad del sistema eléctrico.

Adicionalmente, cada cuatro meses debe realizarse el mantenimiento preventivo del sensor GY-ML8511, que consiste en su limpieza y verificación física, con el propósito de preservar la precisión de las mediciones del índice de radiación ultravioleta.

➤ **Aviso legal**

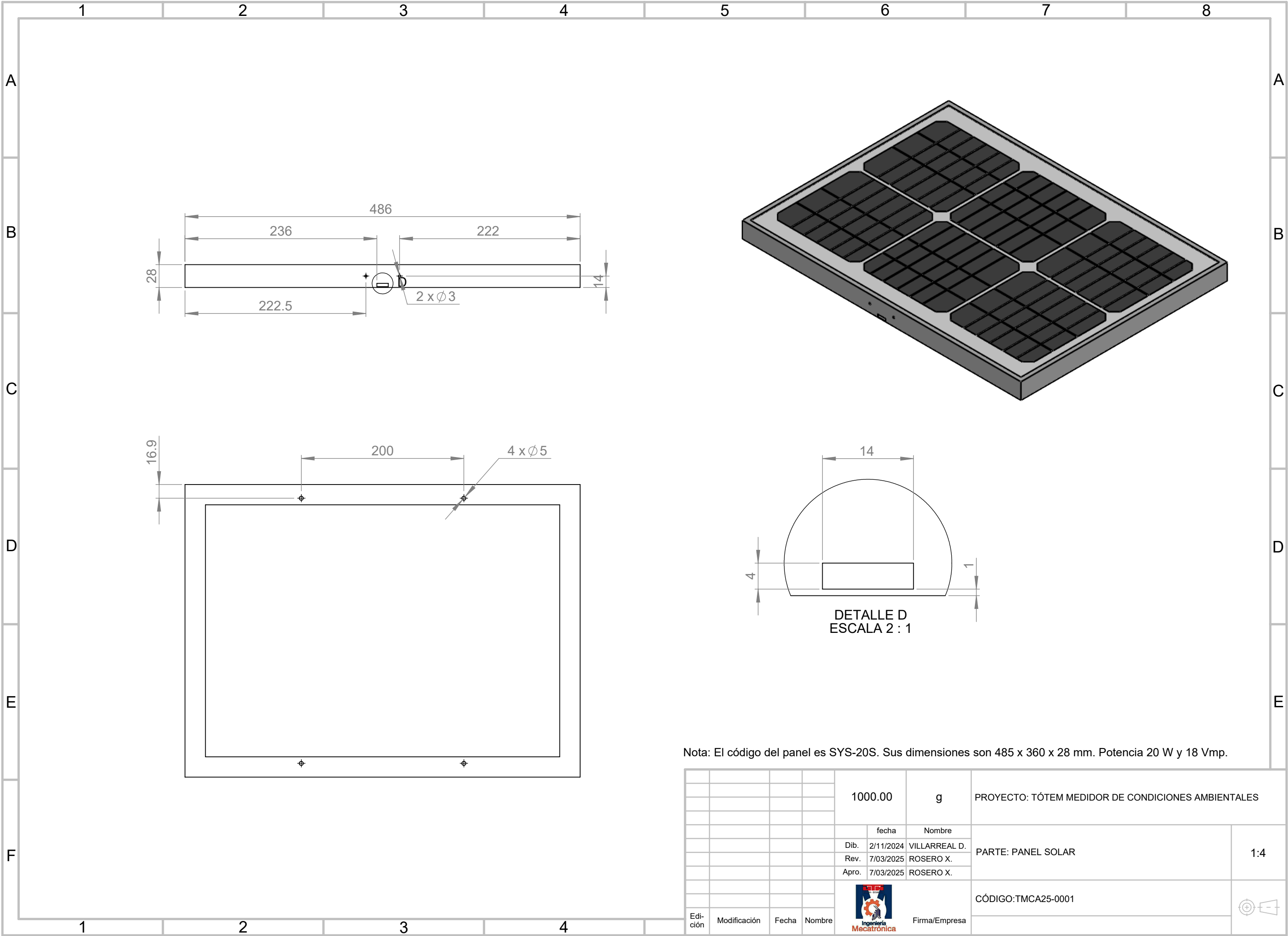
El tótem medidor de condiciones ambientales busca esencialmente entregar información orientativa y útil sobre las condiciones ambientales del entorno, además de ofrecer consejos básicos para que las personas puedan cuidarse adecuadamente. El dispositivo no está diseñado para trabajos científicos ni investigaciones técnicas, debido a que los sensores que se utilizan no son de grado de investigación.

Las recomendaciones ofrecidas se basan en estudios y referencias internacionales, pero deben ser consideradas como una guía general, no como prescripciones específicas. Cada usuario es responsable de adoptar medidas de protección adicionales si lo considera necesario, según sus condiciones personales y necesidades.

En caso presentar alguna duda sobre los valores límite recomendados de radiación UV, calidad del aire o índice de calor, o sobre los riesgos asociados a la salud particular de un usuario, se recomienda consultar directamente a profesional médico.

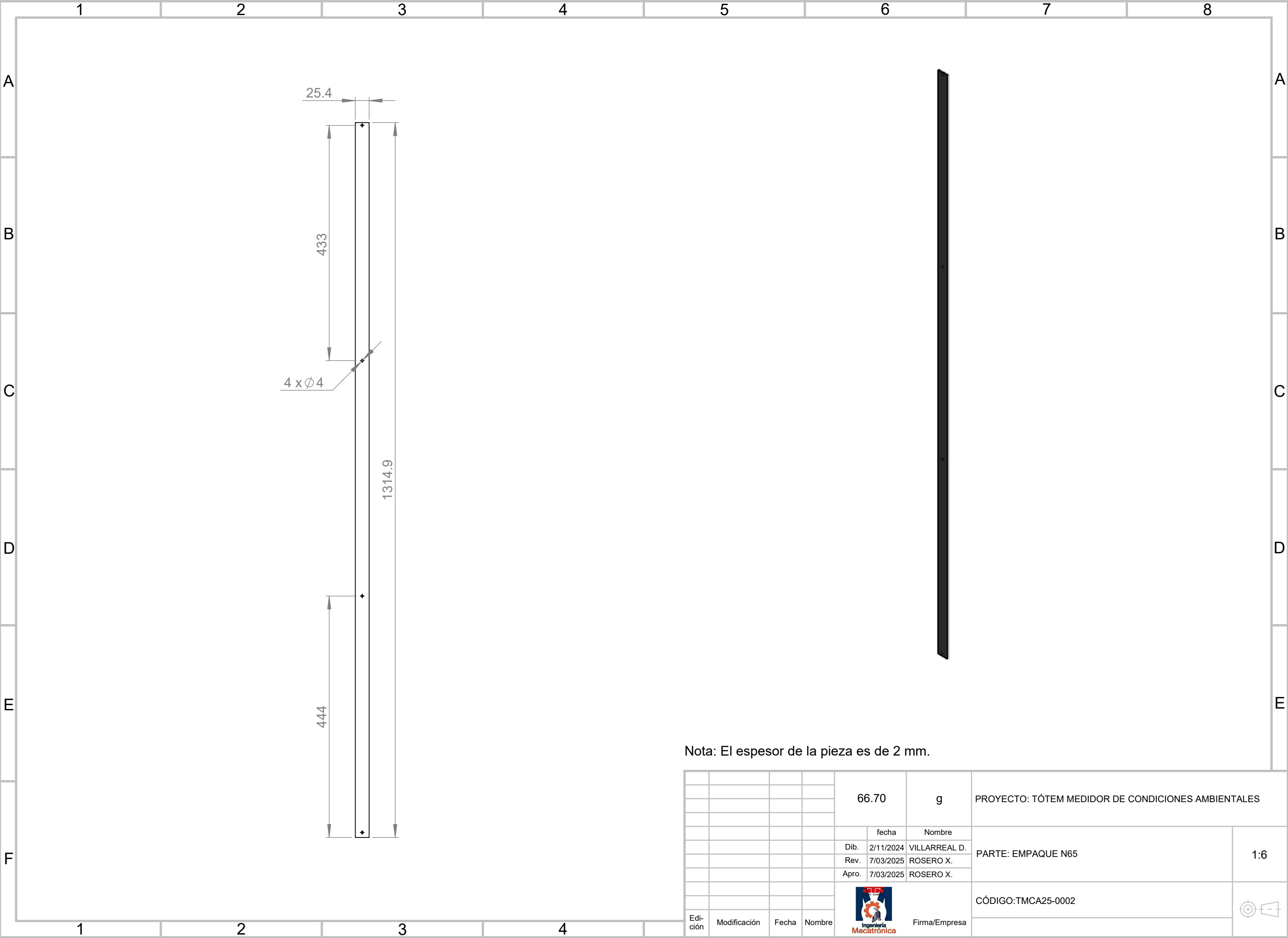
Anexo B

Planos mecánicos



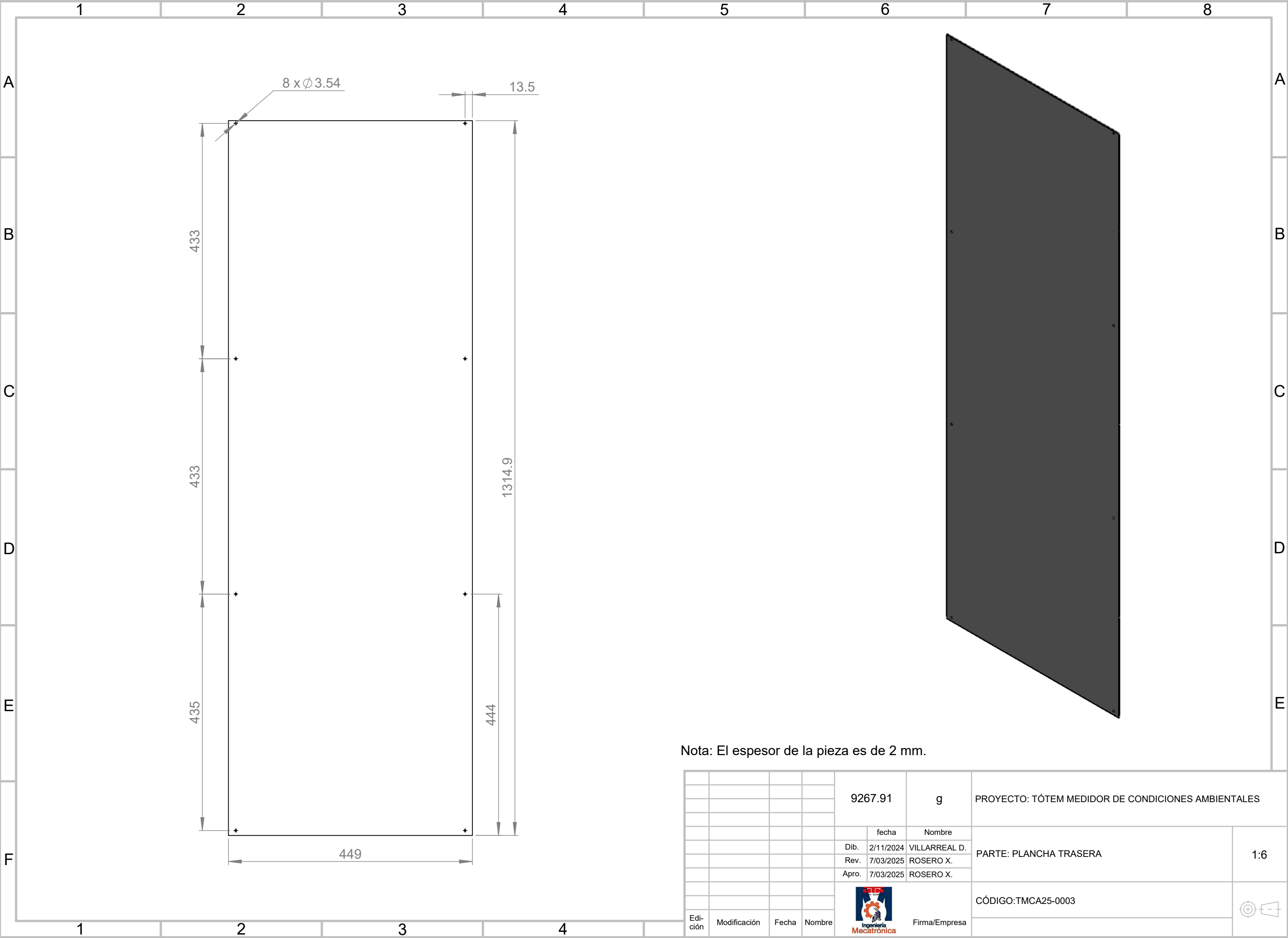
Nota: El código del panel es SYS-20S. Sus dimensiones son 485 x 360 x 28 mm. Potencia 20 W y 18 Vmp.

						1000.00	g	PROYECTO: TÓTEM MEDIDOR DE CONDICIONES AMBIENTALES	



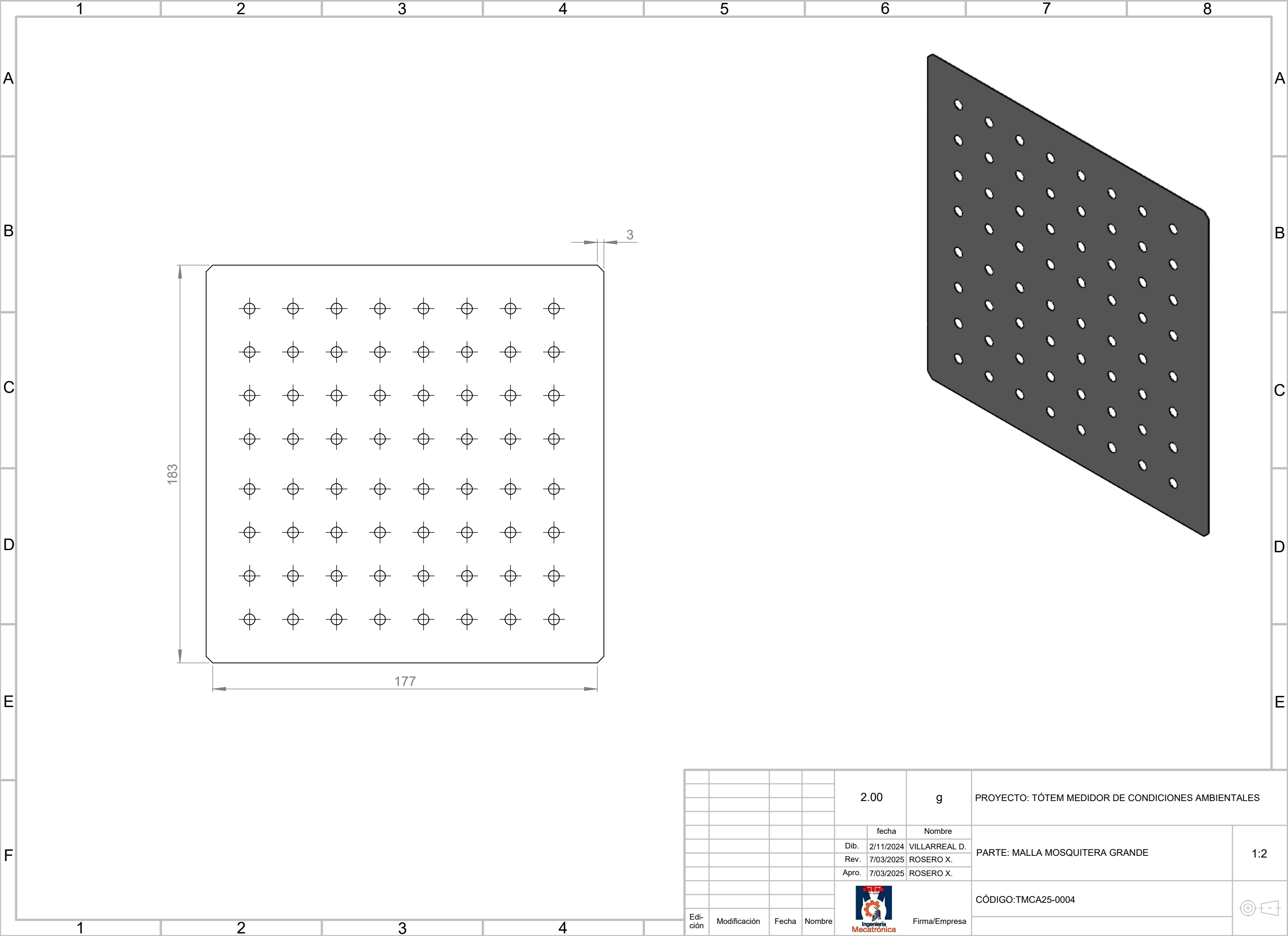
Nota: El espesor de la pieza es de 2 mm.

						66.70	g	PROYECTO: TÓTEM MEDIDOR DE CONDICIONES AMBIENTALES	

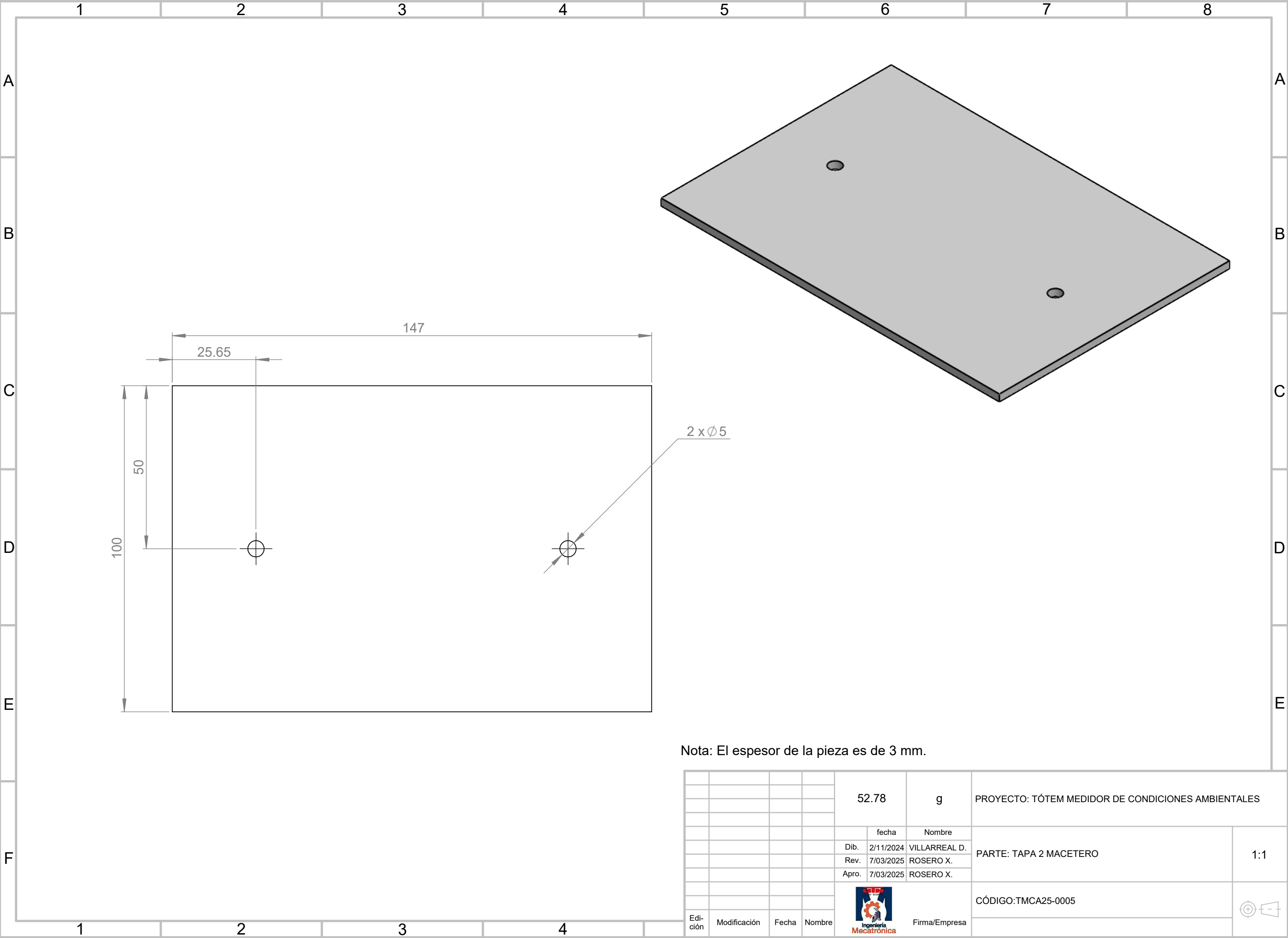


Nota: El espesor de la pieza es de 2 mm.

				9267.91	g	PROYECTO: TÓTEM MEDIDOR DE CONDICIONES AMBIENTALES		
						PARTE: PLANCHA TRASERA		1:6
						CÓDIGO:TMCA25-0003		
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre			Firma/Empresa		

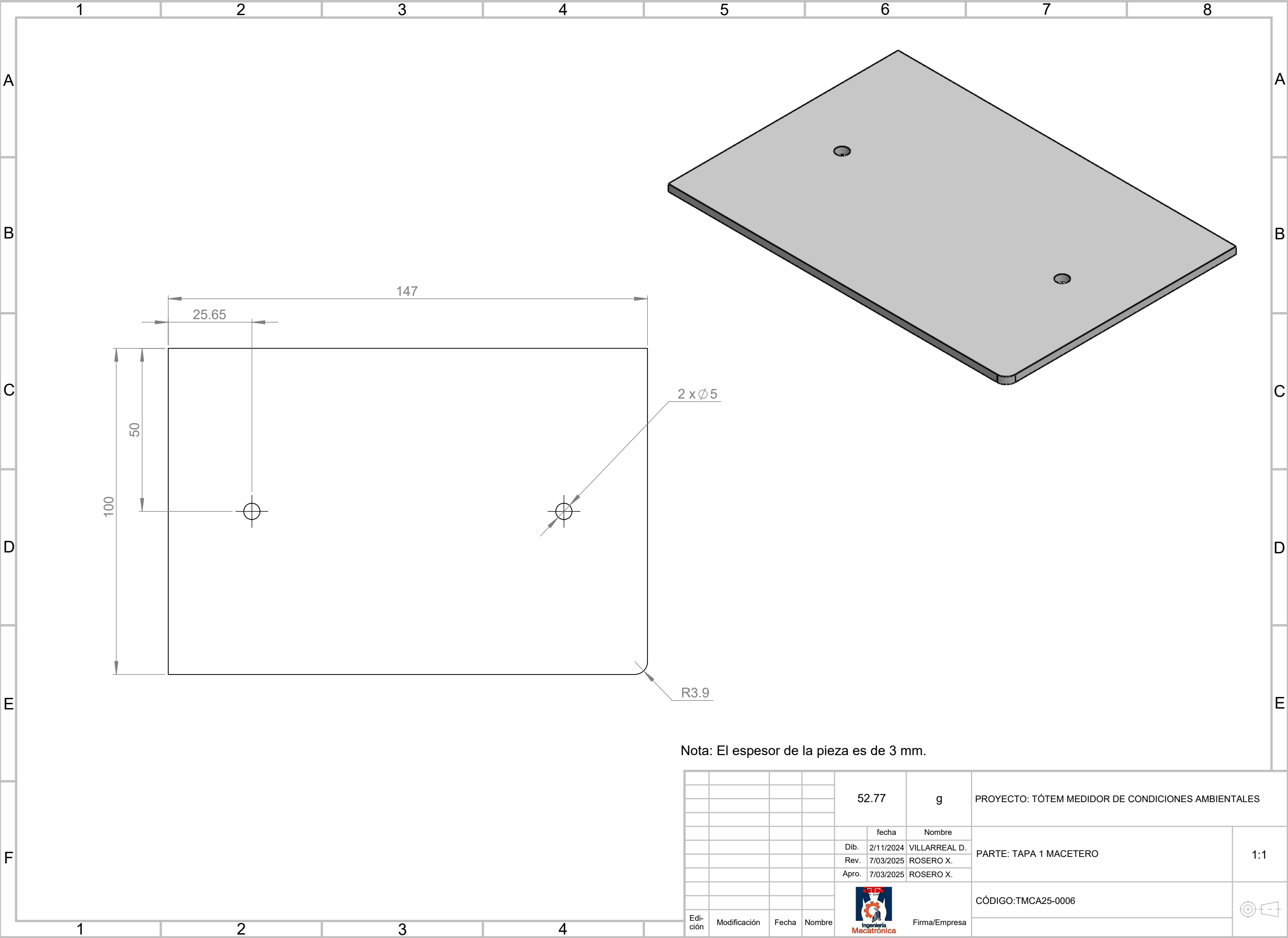


--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--



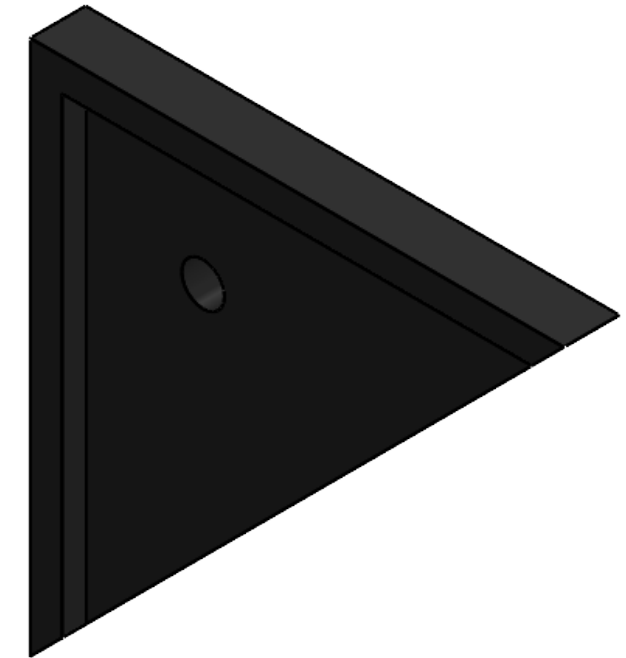
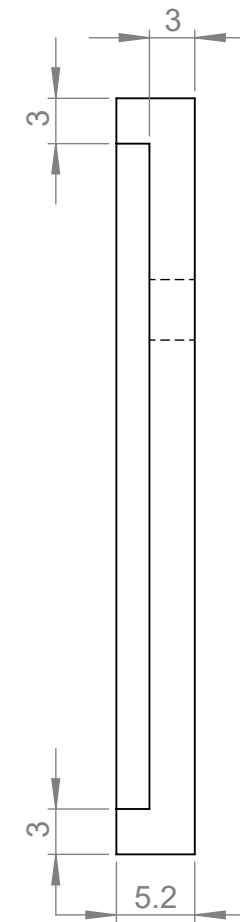
Nota: El espesor de la pieza es de 3 mm.

						52.78	g	PROYECTO: TÓTEM MEDIDOR DE CONDICIONES AMBIENTALES	

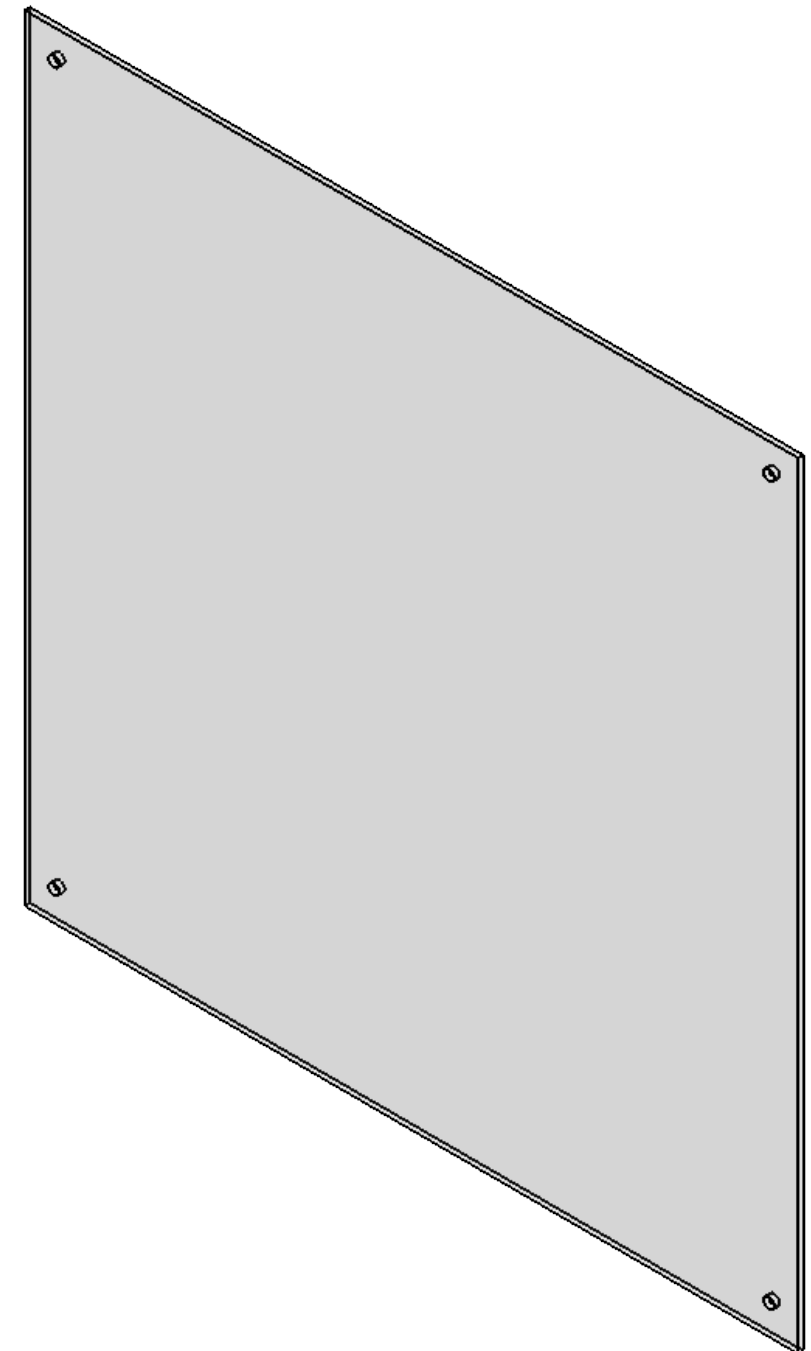
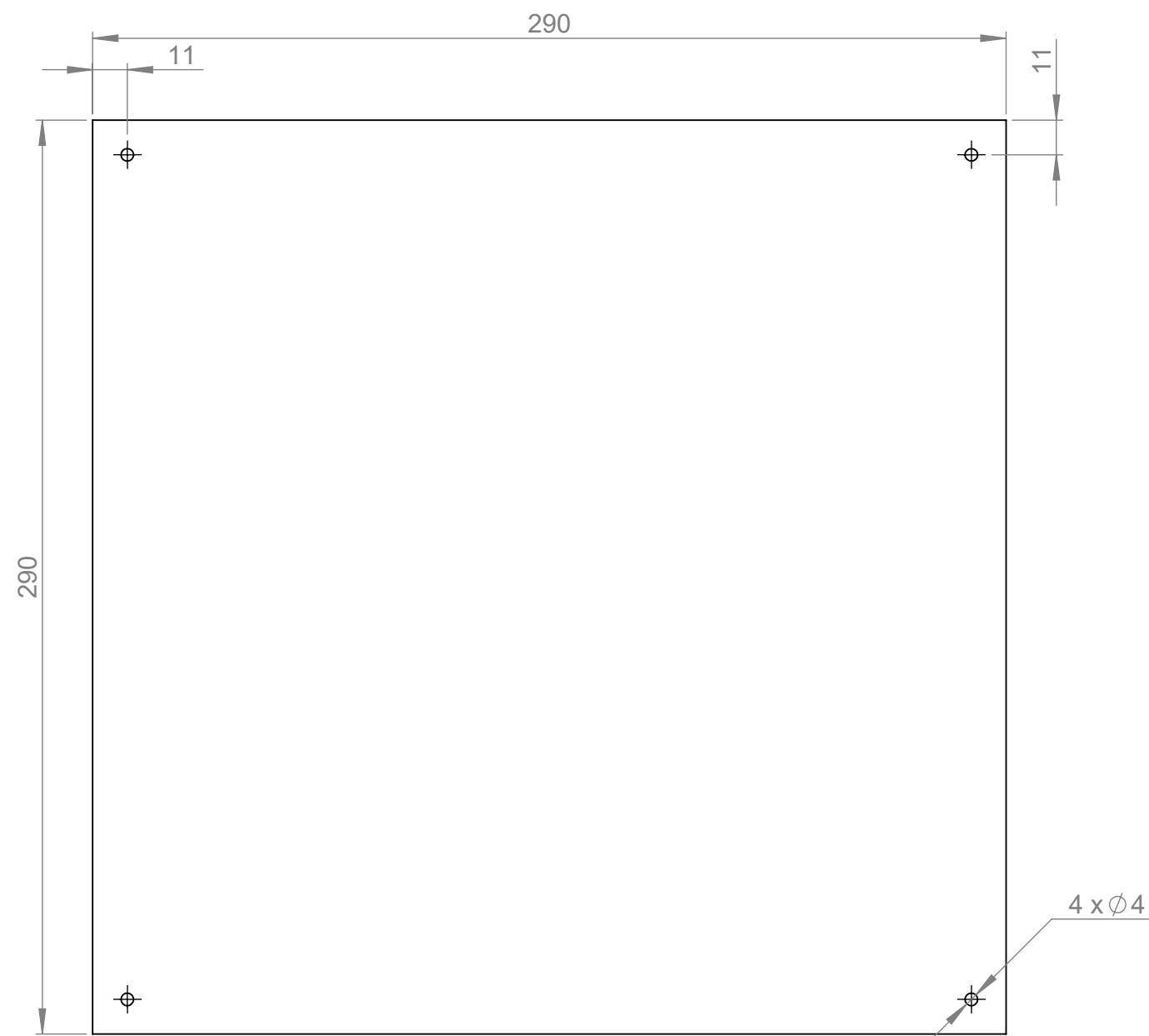


Nota: El espesor de la pieza es de 3 mm.

						52.77	g	PROYECTO: TÓTEM MEDIDOR DE CONDICIONES AMBIENTALES	

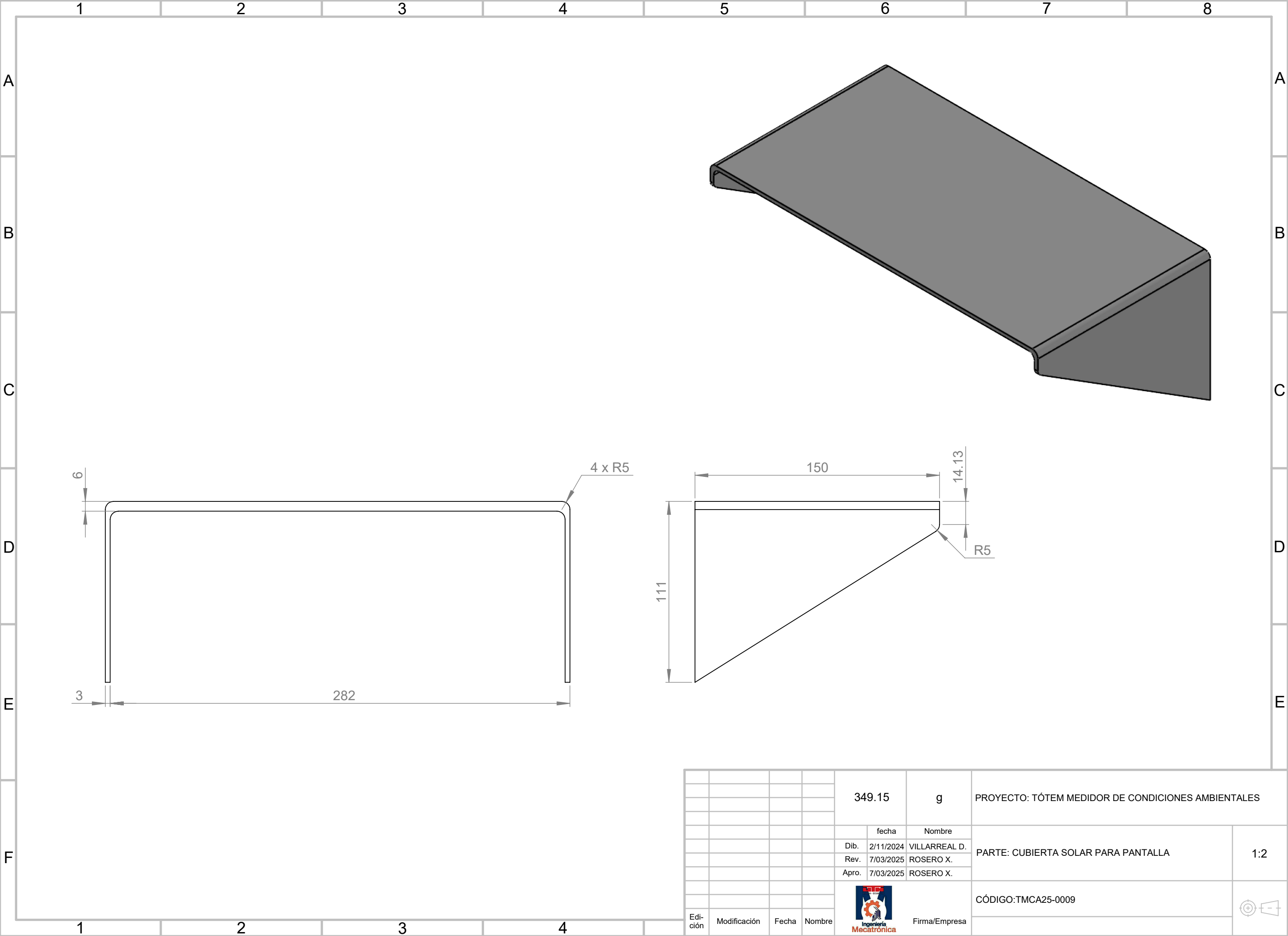


				6.15	g	PROYECTO: TÓTEM MEDIDOR DE CONDICIONES AMBIENTALES	
					fecha	Nombre	
				Dib.	2/11/2024	VILLARREAL D.	
				Rev.	7/03/2025	ROSERO X.	
				Apro.	7/03/2025	ROSERO X.	
							
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre	Firma/Empresa		CÓDIGO:TMCA25-0007	

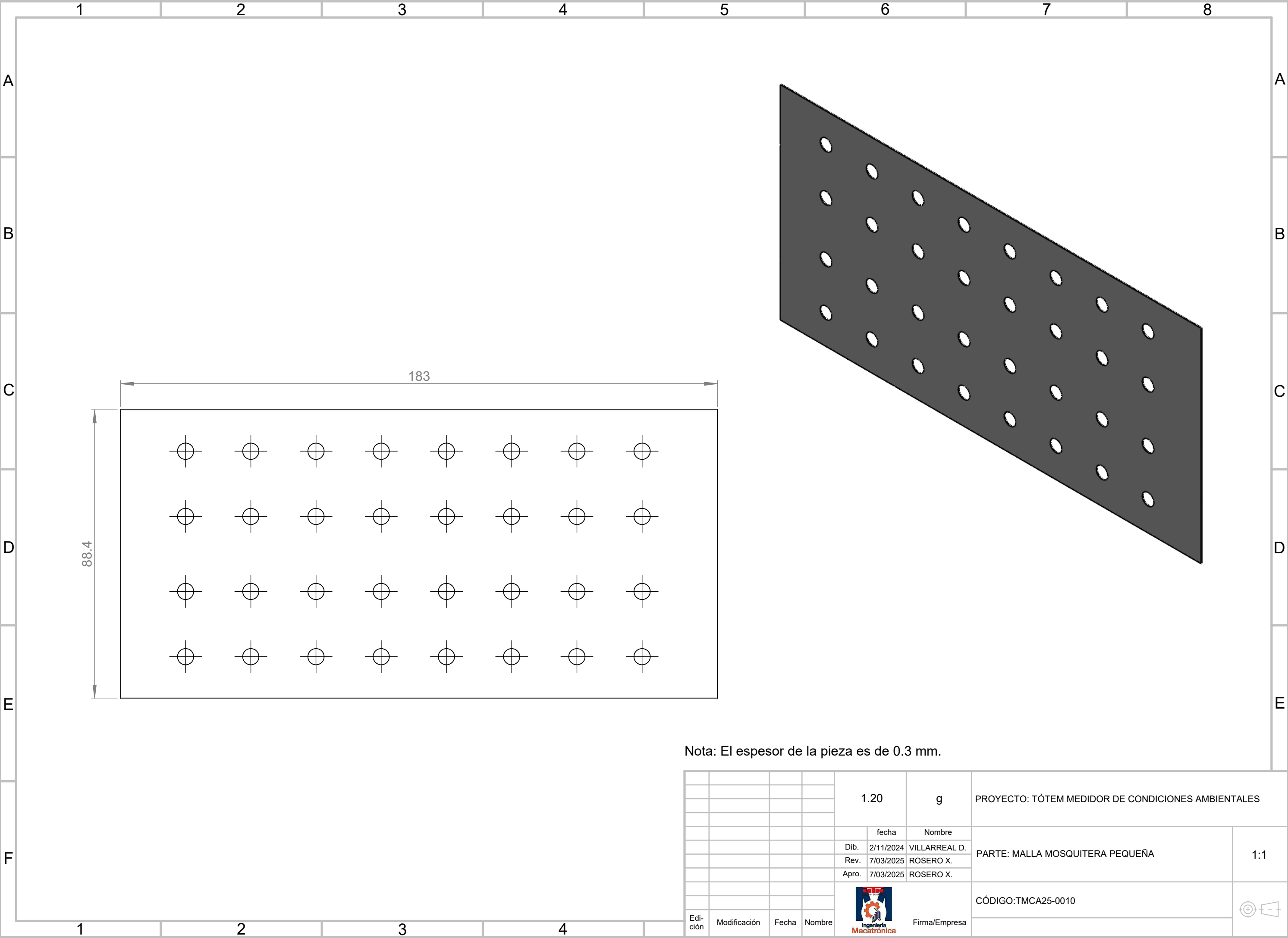


Nota: El espesor de la pieza es de 3 mm.

				201.72	g	PROYECTO: TÓTEM MEDIDOR DE CONDICIONES AMBIENTALES		
					fecha	Nombre	PARTE: PLACA INFORMATIVA	1:2
				Dib.	2/11/2024	VILLARREAL D.		
				Rev.	7/03/2025	ROSERO X.		
				Apro.	7/03/2025	ROSERO X.		
						Firma/Empresa	CÓDIGO:TMCA25-0008	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre					

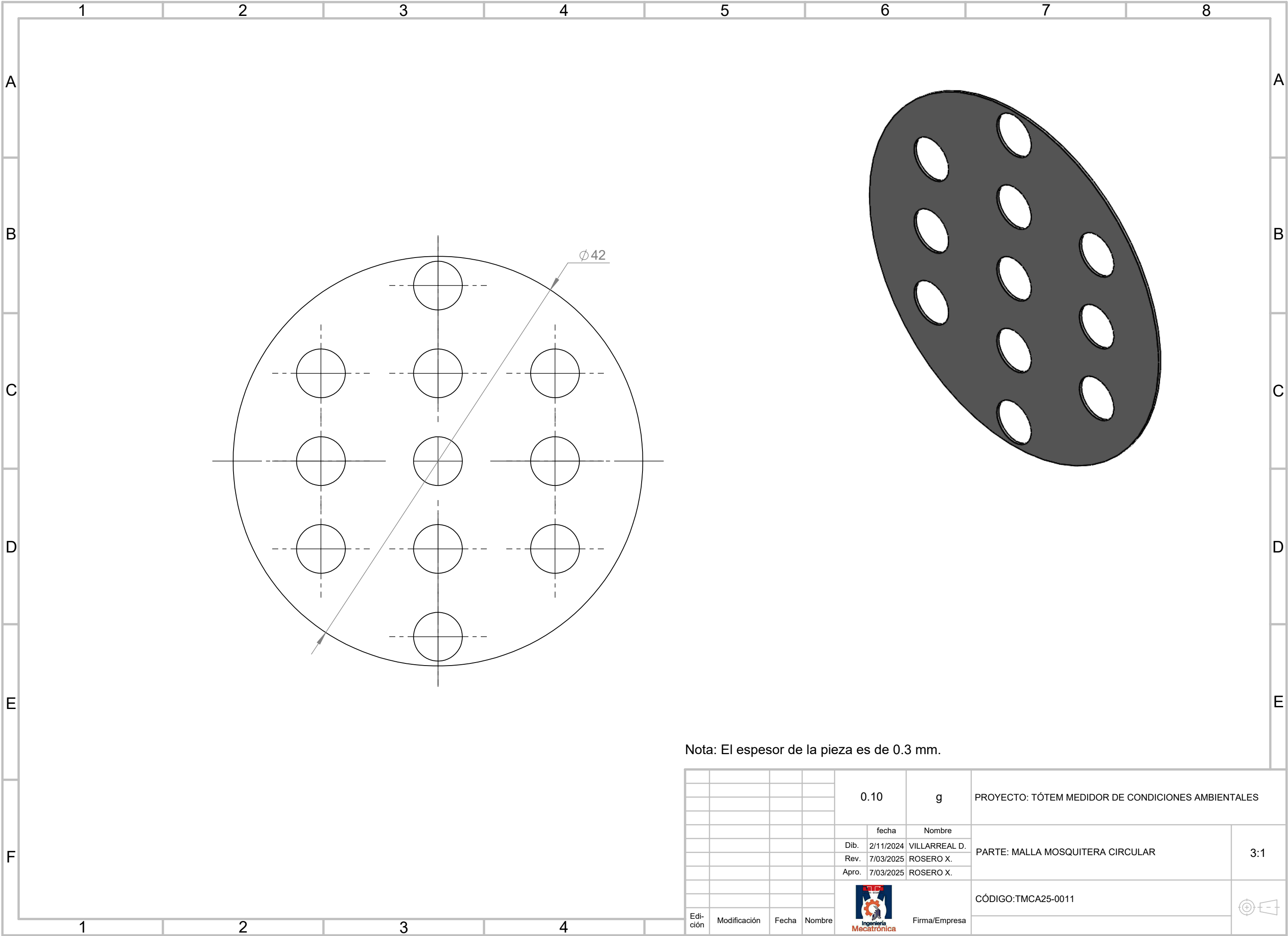


--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--



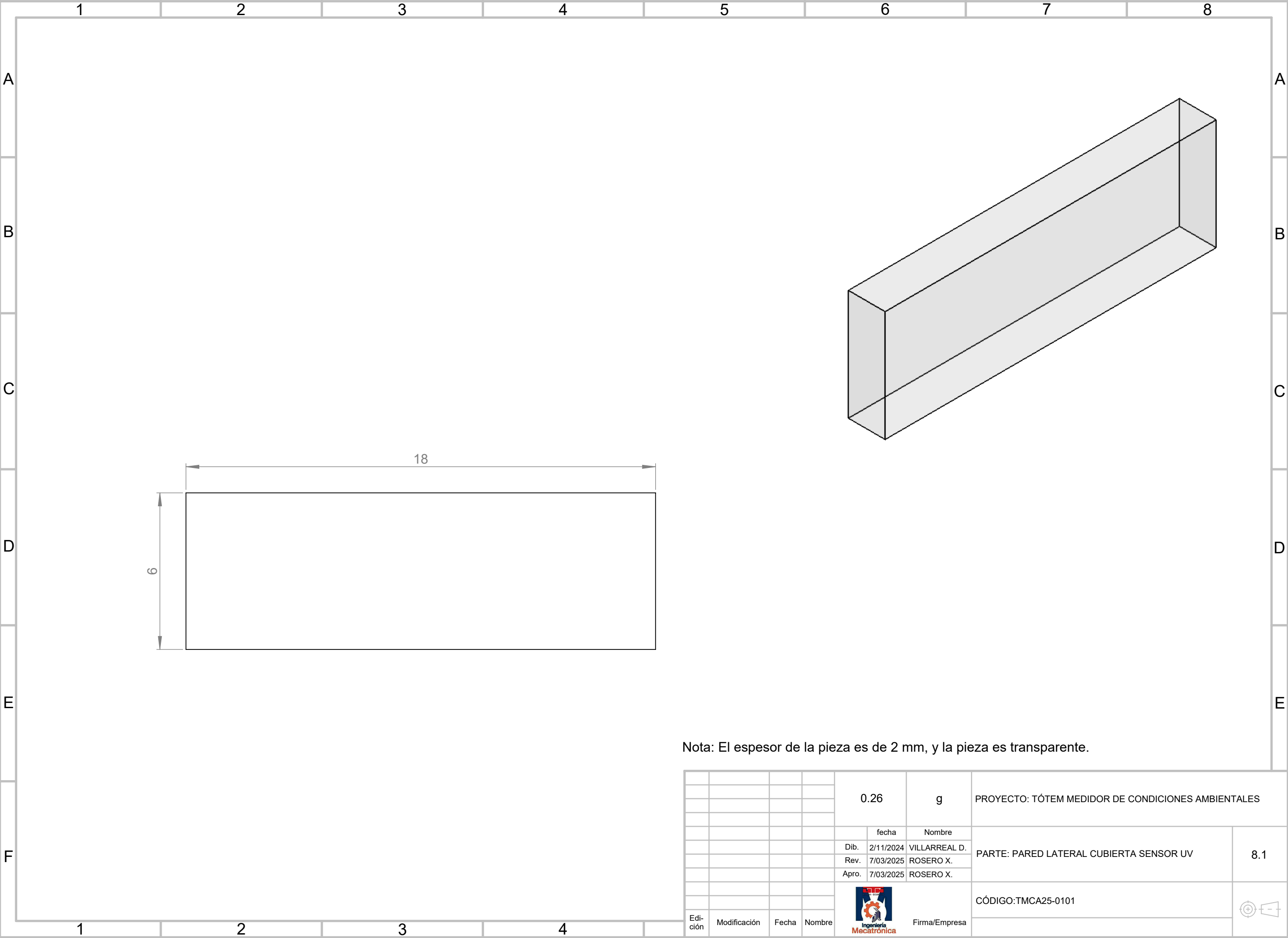
Nota: El espesor de la pieza es de 0.3 mm.

				1.20	g	PROYECTO: TÓTEM MEDIDOR DE CONDICIONES AMBIENTALES	
						PARTE: MALLA MOSQUITERA PEQUEÑA	1:1
				fecha	Nombre		
				Dib. 2/11/2024	VILLARREAL D.		
				Rev. 7/03/2025	ROSETO X.		
				Apro. 7/03/2025	ROSETO X.		
						CÓDIGO:TMCA25-0010	
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre				



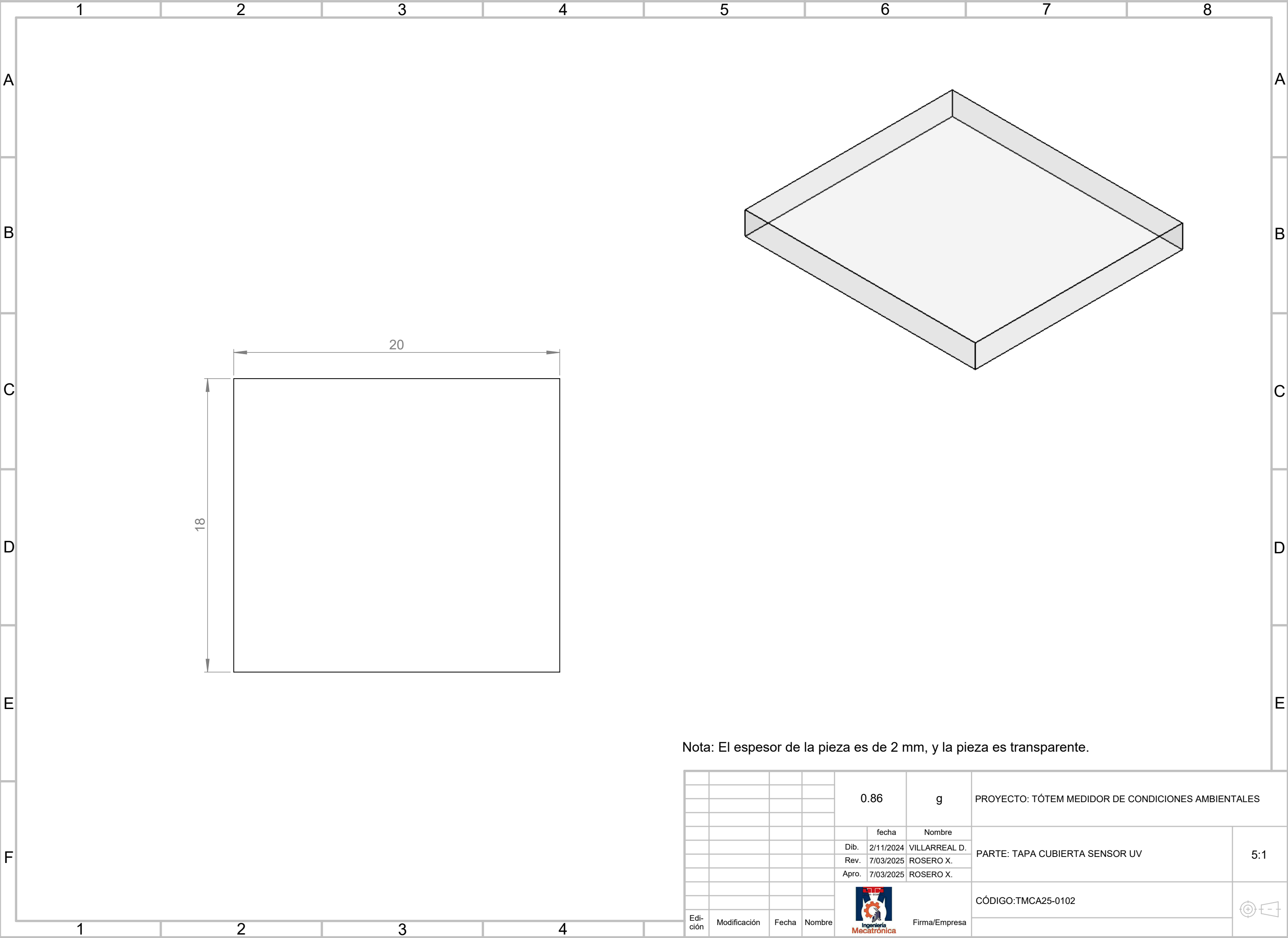
Nota: El espesor de la pieza es de 0.3 mm.

						0.10	g	PROYECTO: TÓTEM MEDIDOR DE CONDICIONES AMBIENTALES	



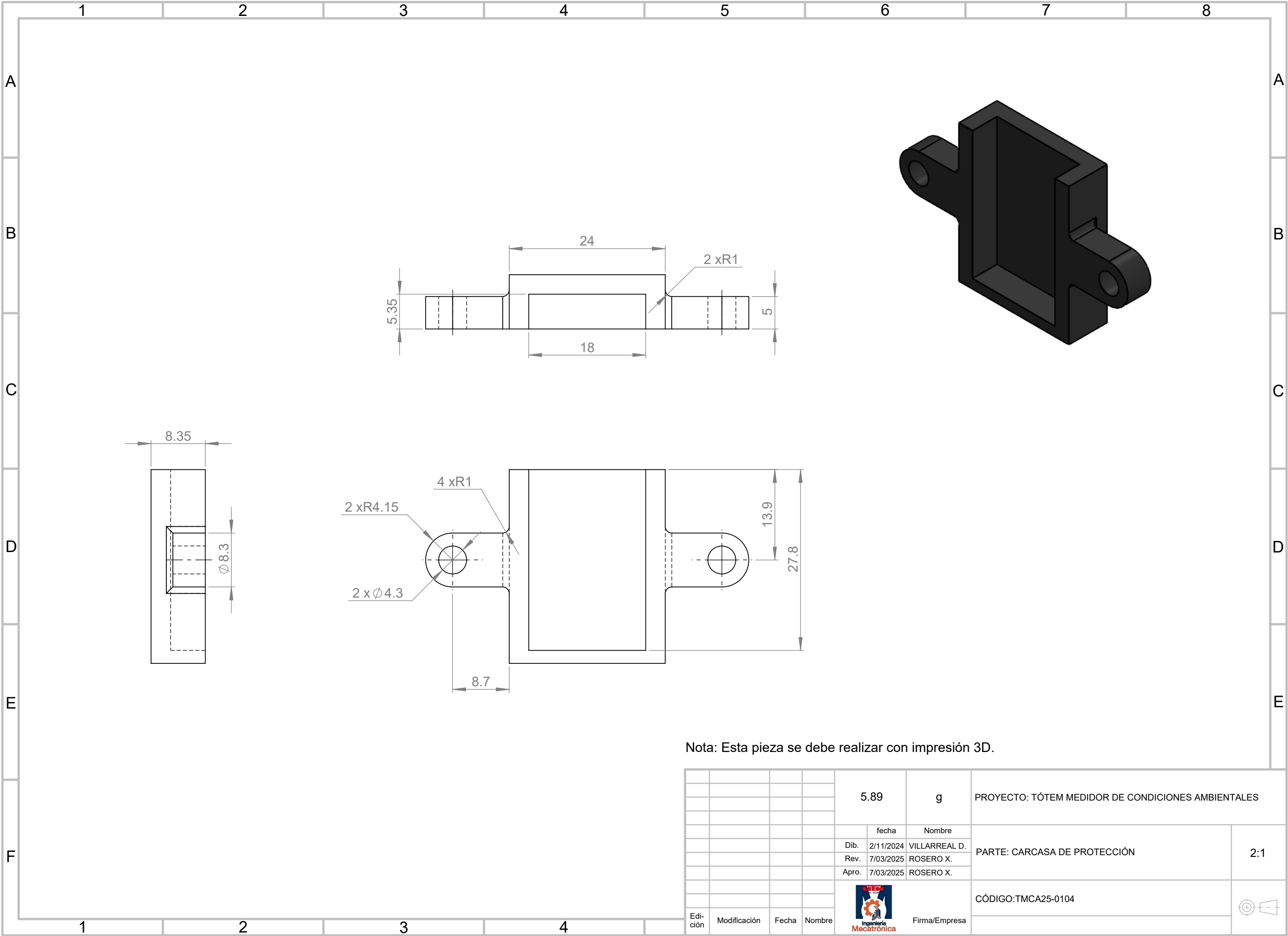
Nota: El espesor de la pieza es de 2 mm, y la pieza es transparente.

					0.26	g	PROYECTO: TÓTEM MEDIDOR DE CONDICIONES AMBIENTALES	
							PARTE: PARED LATERAL CUBIERTA SENSOR UV	8.1
				Dib.	2/11/2024	VILLARREAL D.		
				Rev.	7/03/2025	ROSERO X.		
				Apro.	7/03/2025	ROSERO X.	CÓDIGO:TMCA25-0101	
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre			Firma/Empresa		

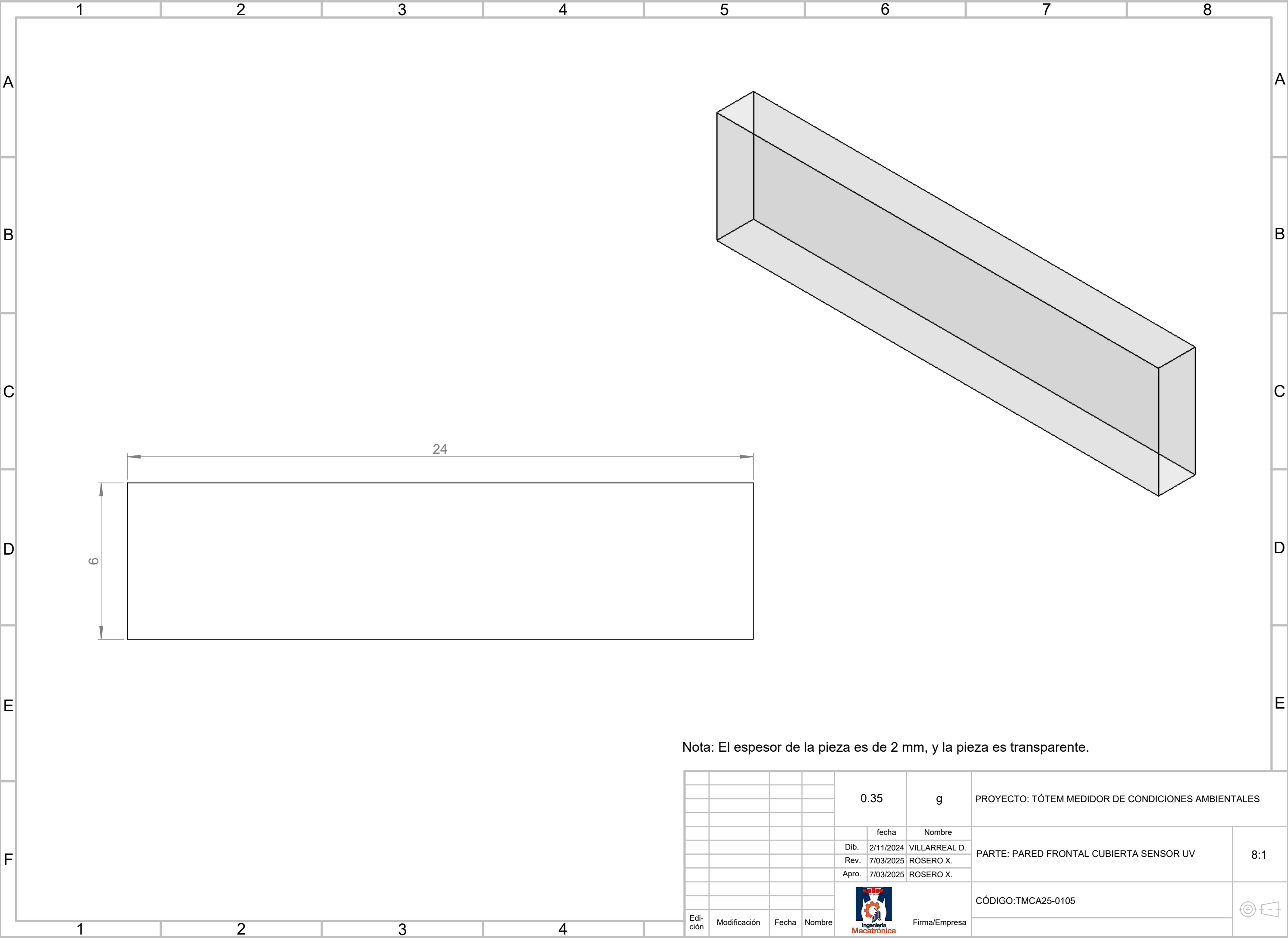


Nota: El espesor de la pieza es de 2 mm, y la pieza es transparente.

					0.86	g	PROYECTO: TÓTEM MEDIDOR DE CONDICIONES AMBIENTALES	
							PARTE: TAPA CUBIERTA SENSOR UV	5:1
				Dib.	2/11/2024	VILLARREAL D.		
				Rev.	7/03/2025	ROSERO X.		
				Apro.	7/03/2025	ROSERO X.	CÓDIGO:TMCA25-0102	
								
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre	Firma/Empresa				

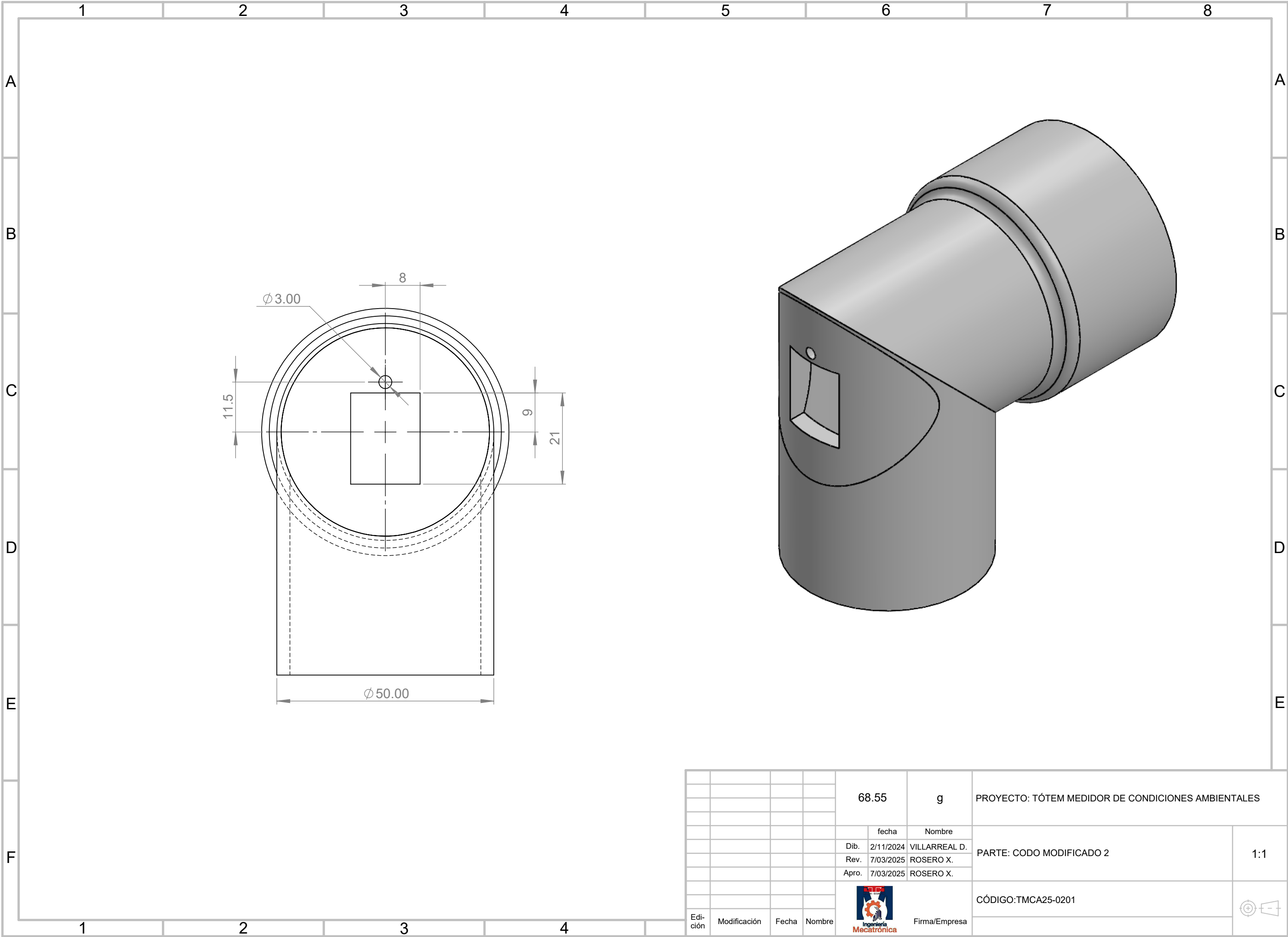


				5.89	g	PROYECTO: TÓTEM MEDIDOR DE CONDICIONES AMBIENTALES	
						PARTE: CARCASA DE PROTECCIÓN	2:1
				fecha	Nombre		
				Dib. 2/11/2024	VILLARREAL D.		
				Rev. 7/03/2025	ROSETO X.		
				Apro. 7/03/2025	ROSETO X.		
						CÓDIGO:TMCA25-0104	
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre			Firma/Empresa	

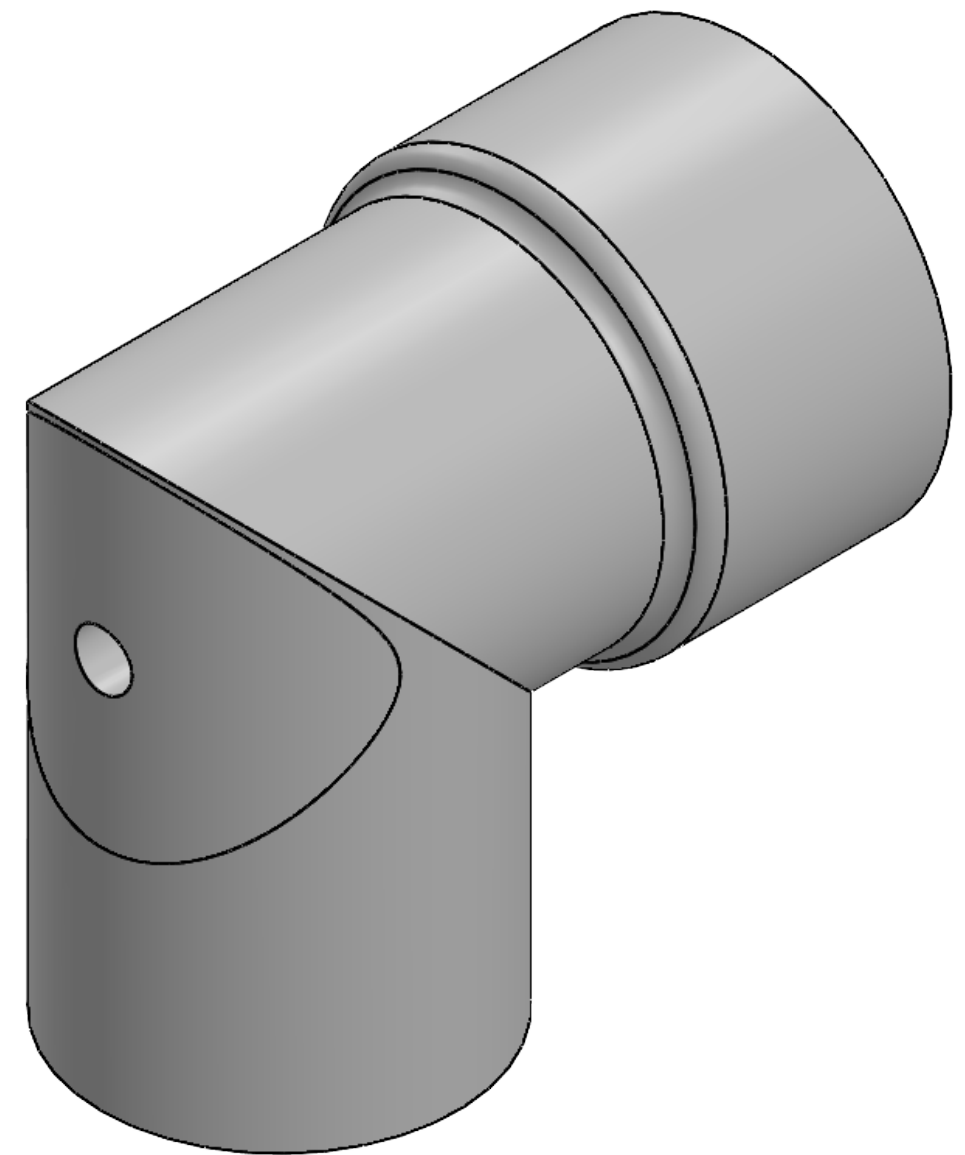


Nota: El espesor de la pieza es de 2 mm, y la pieza es transparente.

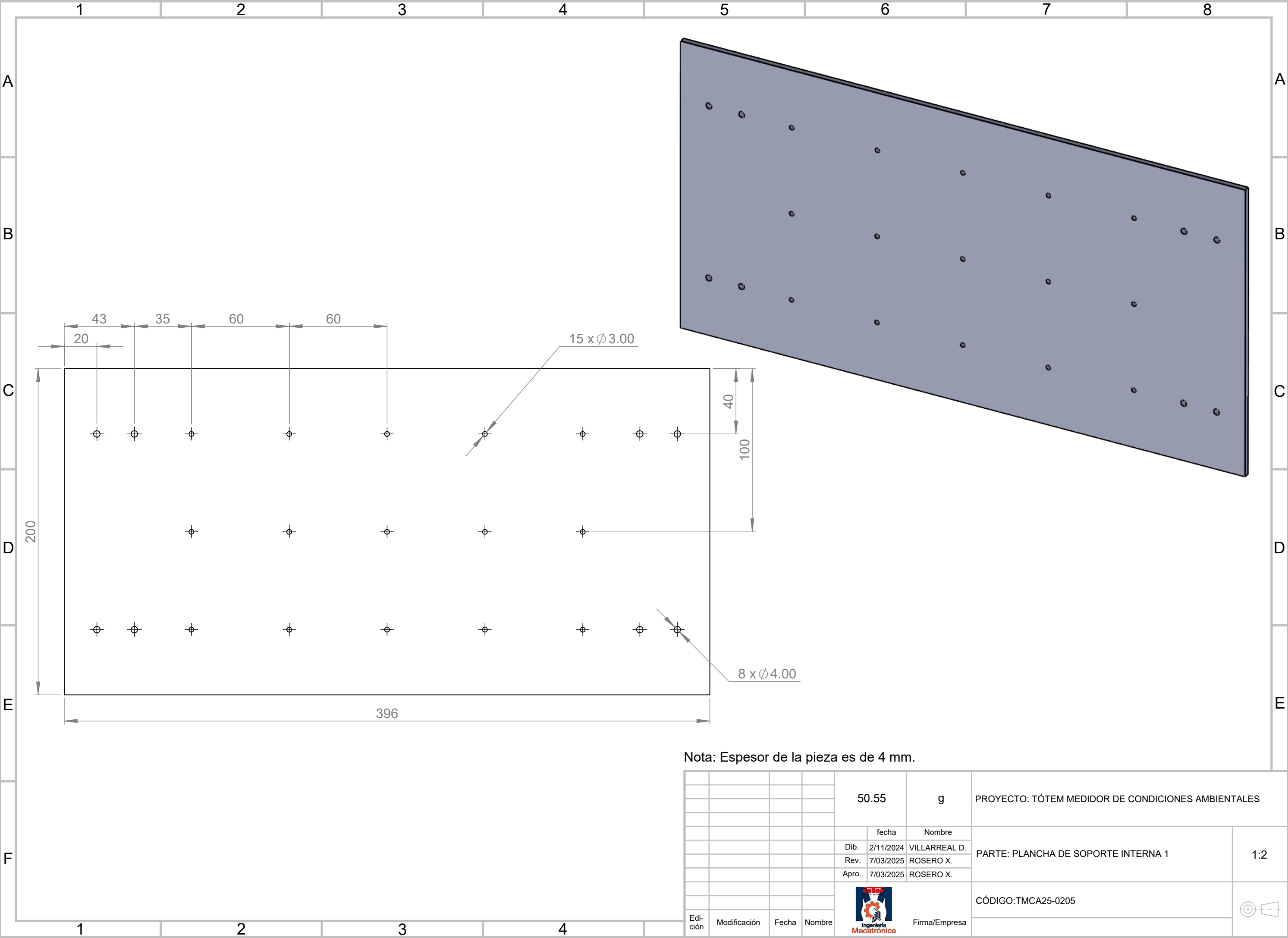
					0.35	g	PROYECTO: TÓTEM MEDIDOR DE CONDICIONES AMBIENTALES	



																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				</
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----

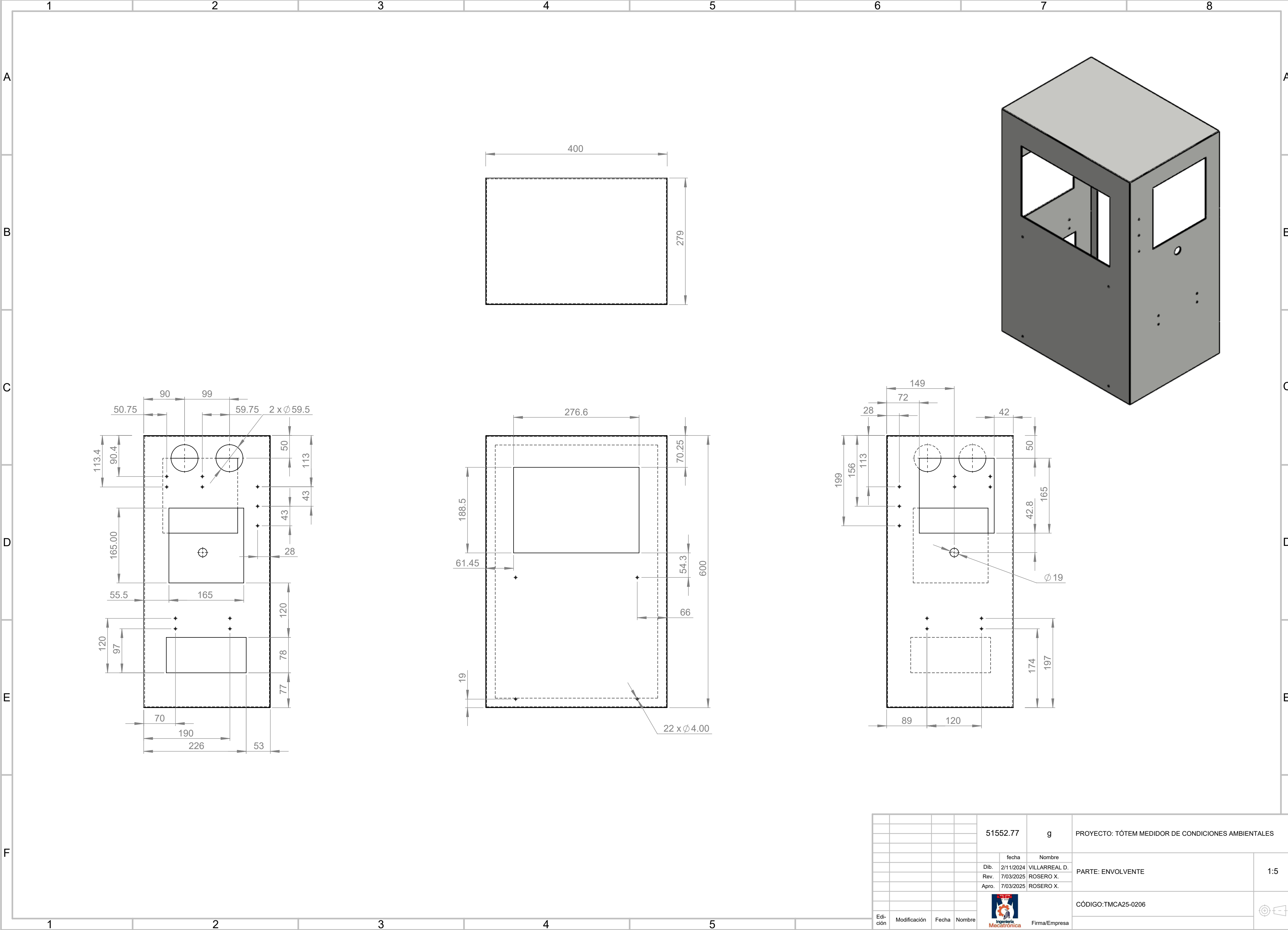


--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

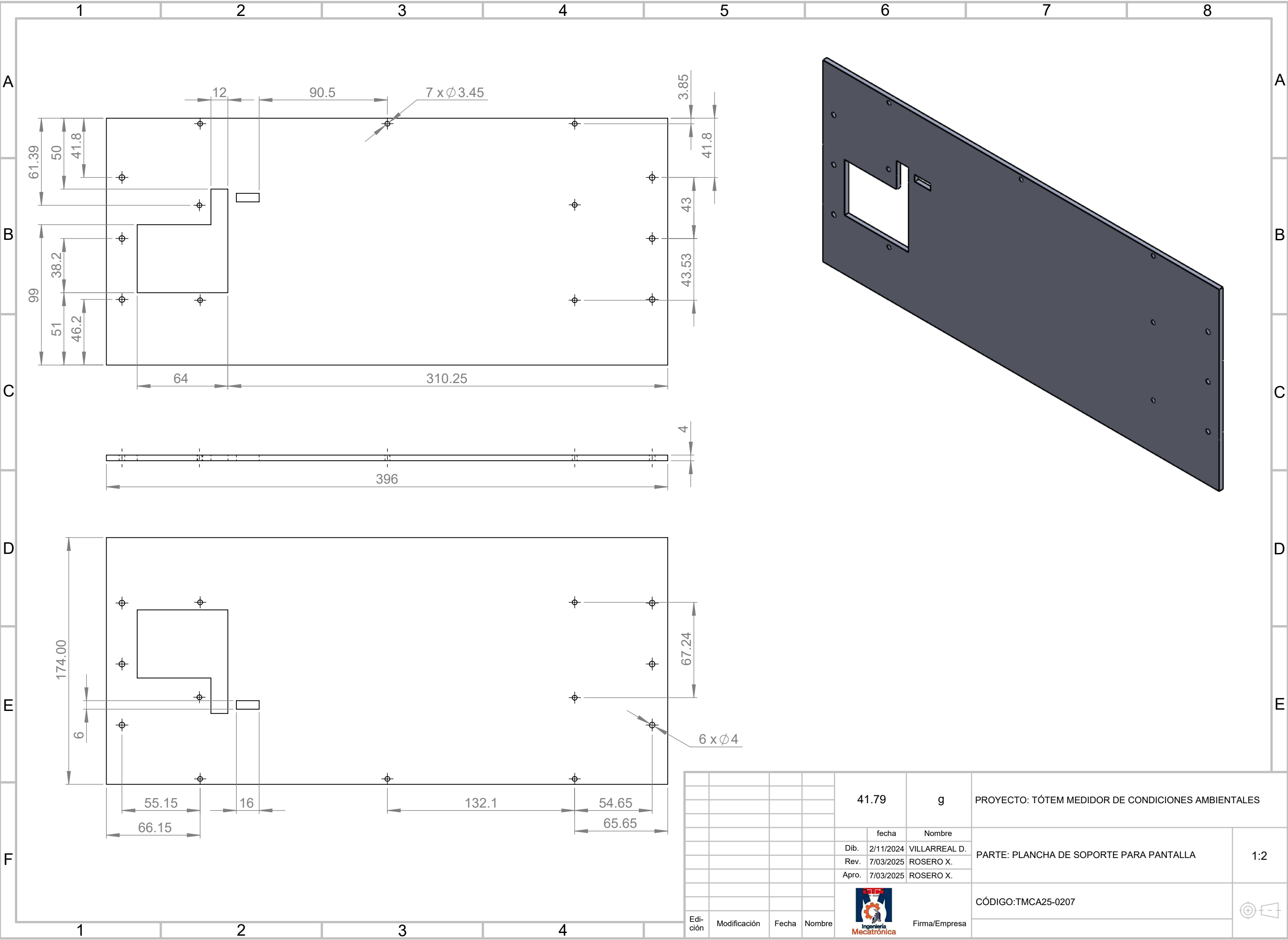


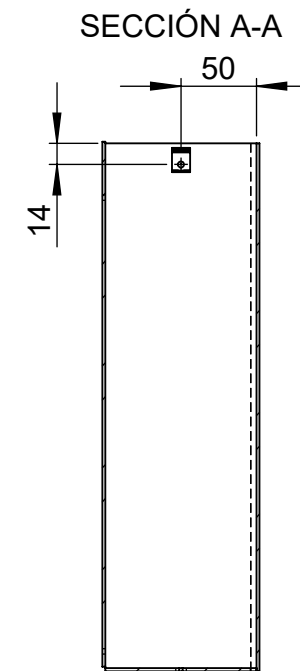
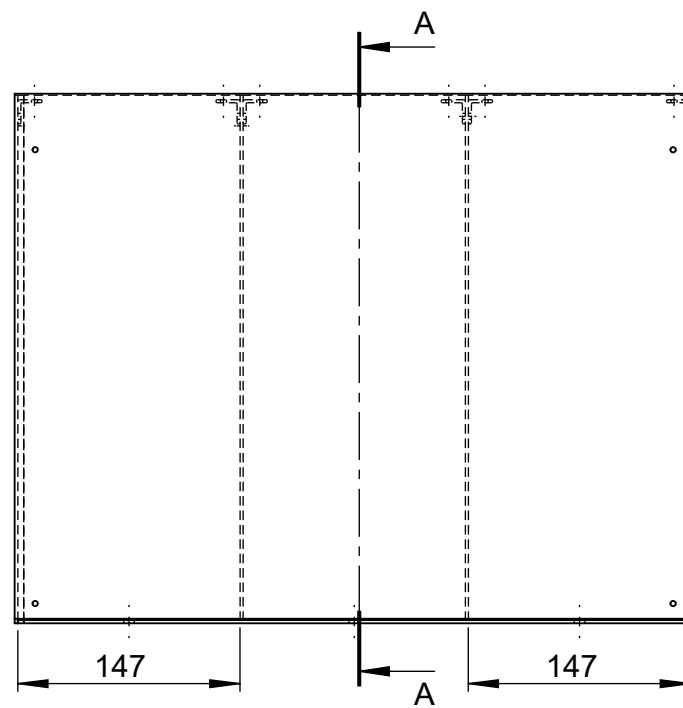
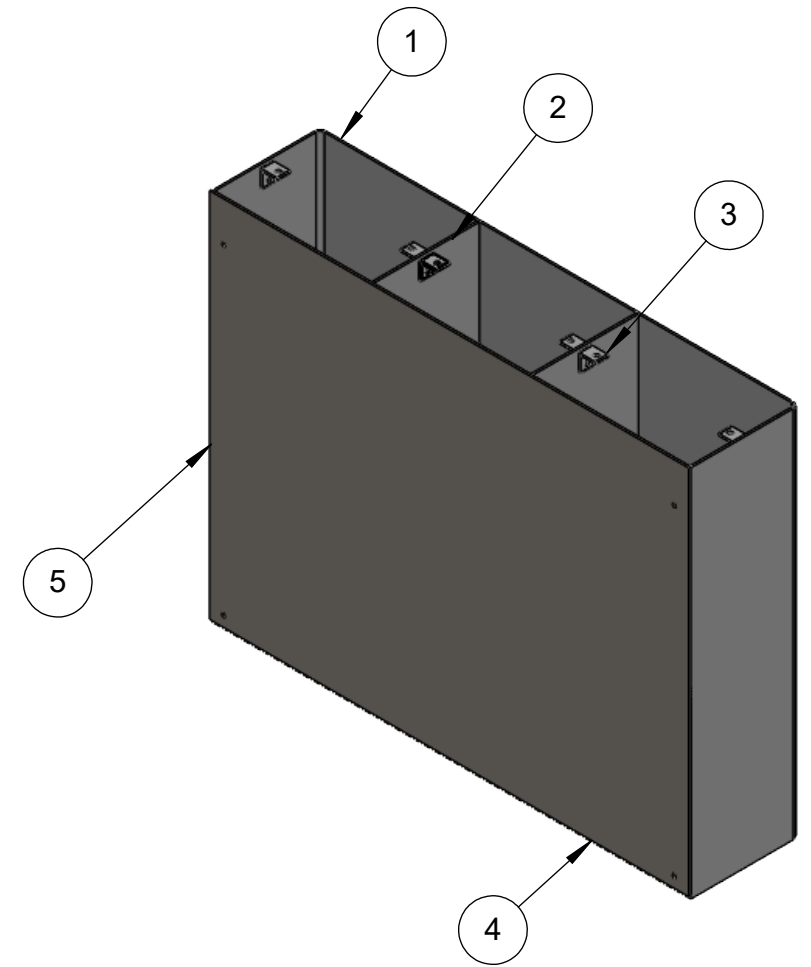
Nota: Espesor de la pieza es de 4 mm.

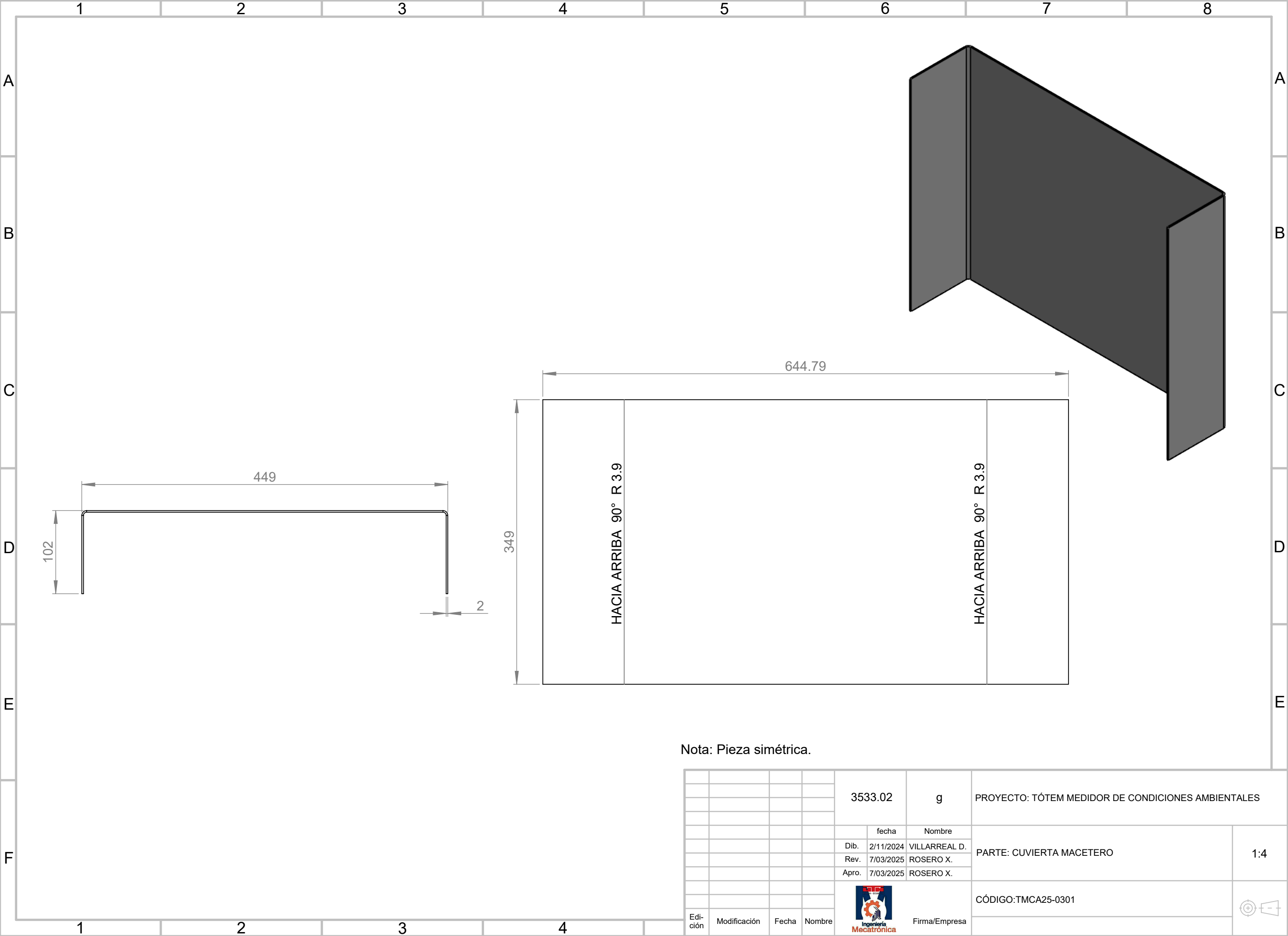
																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															</
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----



					51552.77	g	PROYECTO: TÓTEM MEDIDOR DE CONDICIONES AMBIENTALES	
					fecha	Nombre	PARTE: ENVOLVENTE	1:5
					Dib. 2/11/2024	VILLARREAL D.		
					Rev. 7/03/2025	ROSETO X.		
					Apro. 7/03/2025	ROSETO X.		
							CÓDIGO:TMCA25-0206	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	Firma/Empresa				

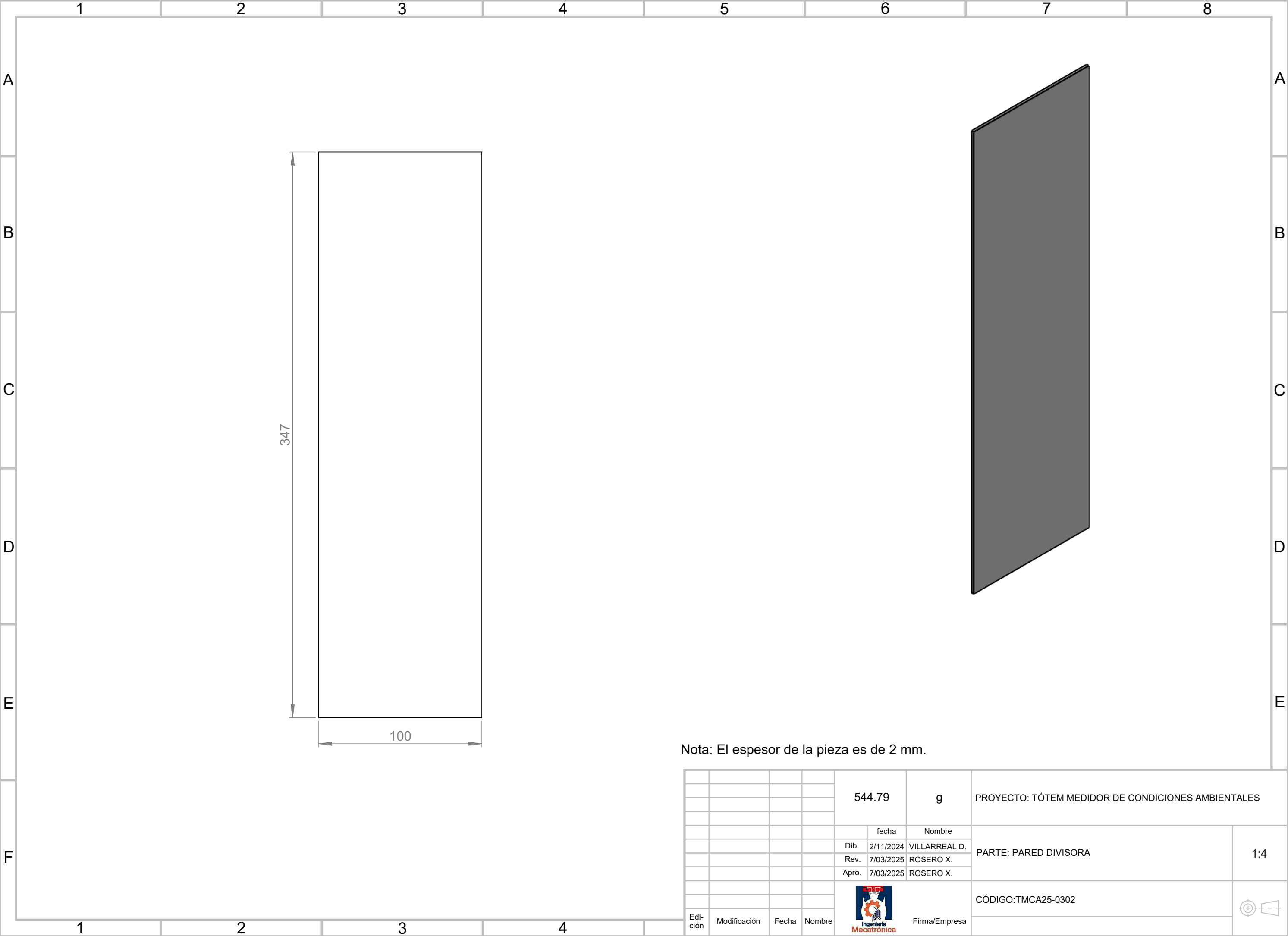


[illegible]

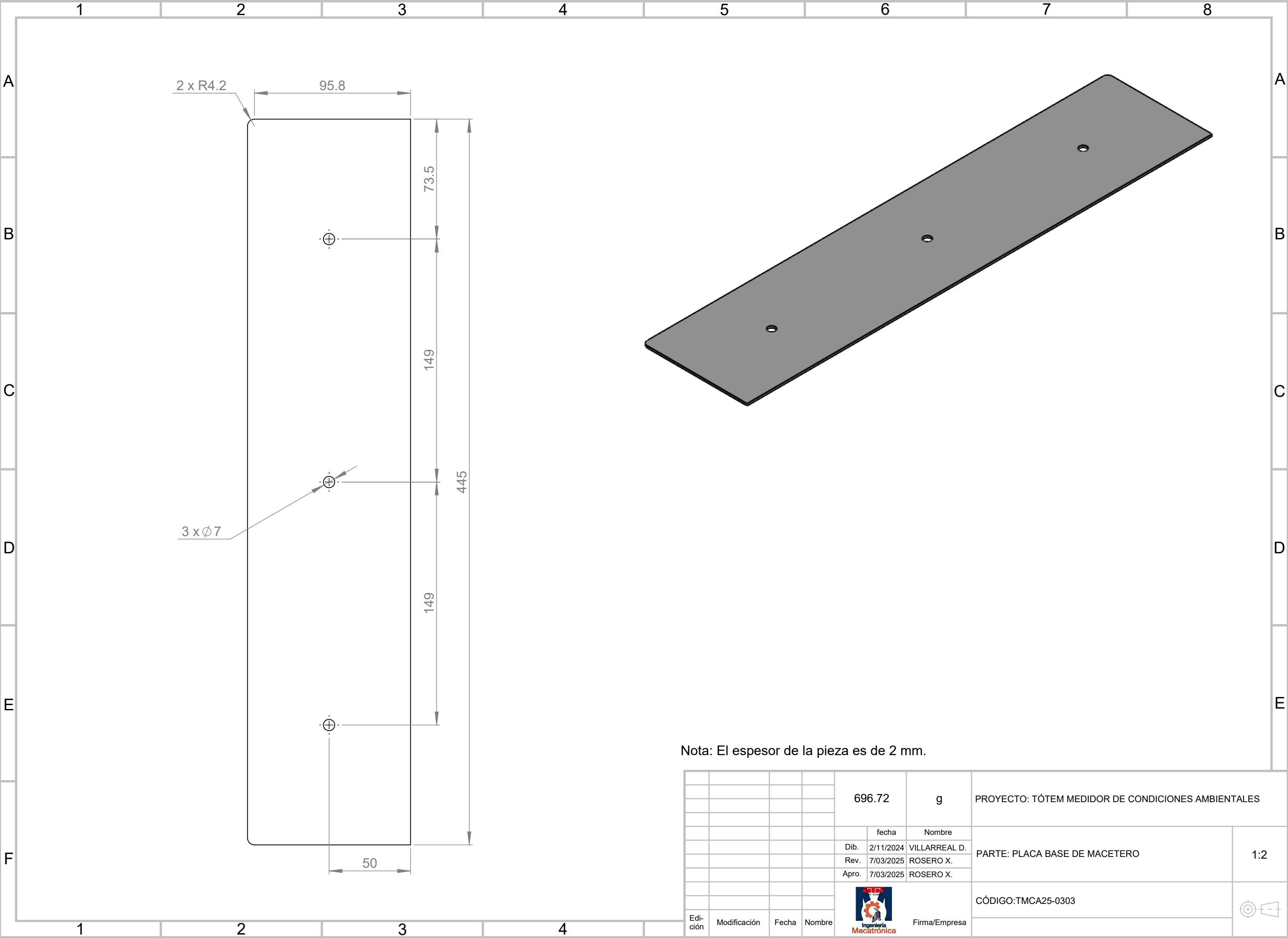


Nota: Pieza simétrica.

				3533.02	g	PROYECTO: TÓTEM MEDIDOR DE CONDICIONES AMBIENTALES	
						PARTE: CUVIERTA MACETERO	1:4
						CÓDIGO:TMCA25-0301	
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre			Firma/Empresa	

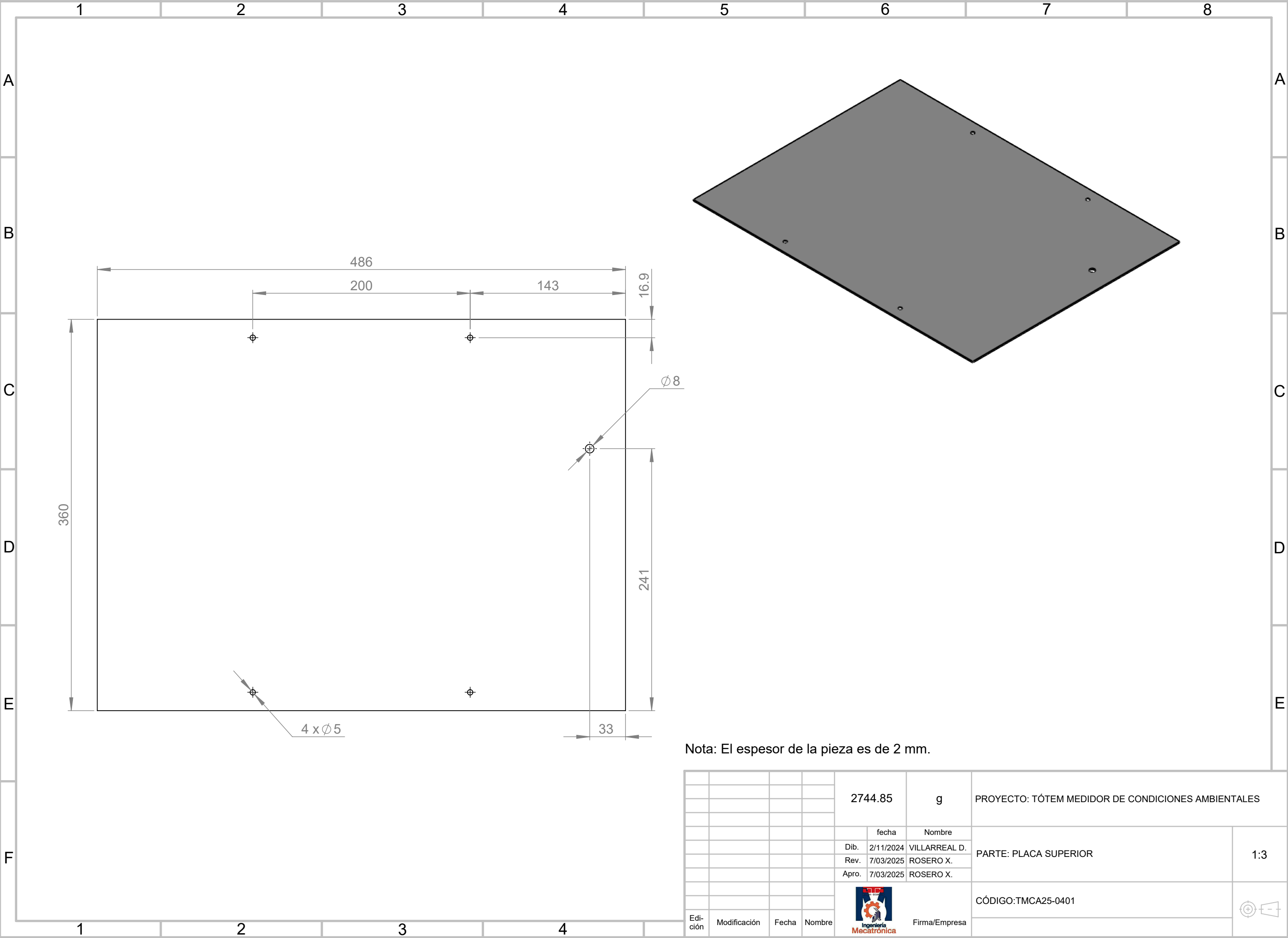


				544.79	g	PROYECTO: TÓTEM MEDIDOR DE CONDICIONES AMBIENTALES	
						PARTE: PARED DIVISORA	1:4
						CÓDIGO:TMCA25-0302	
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre			Firma/Empresa	



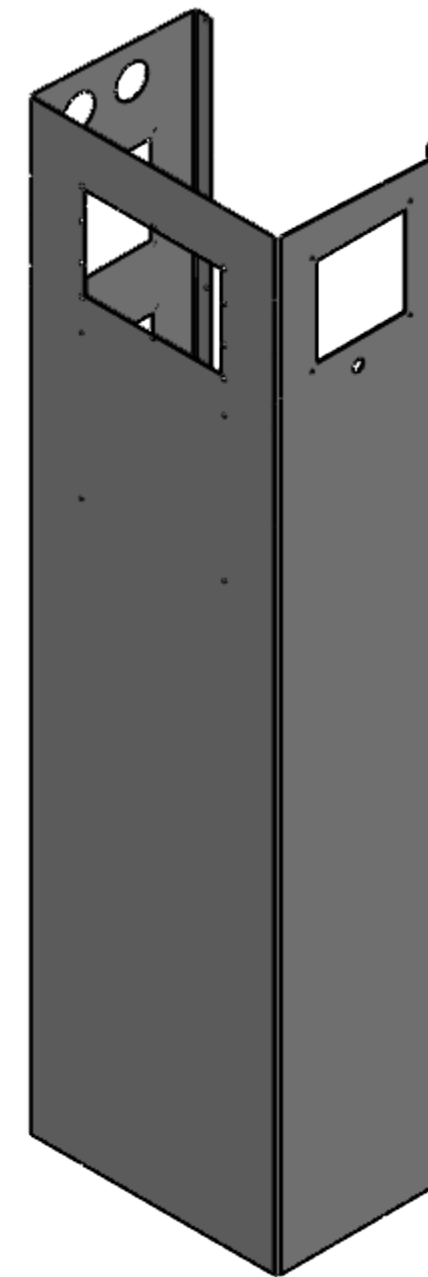
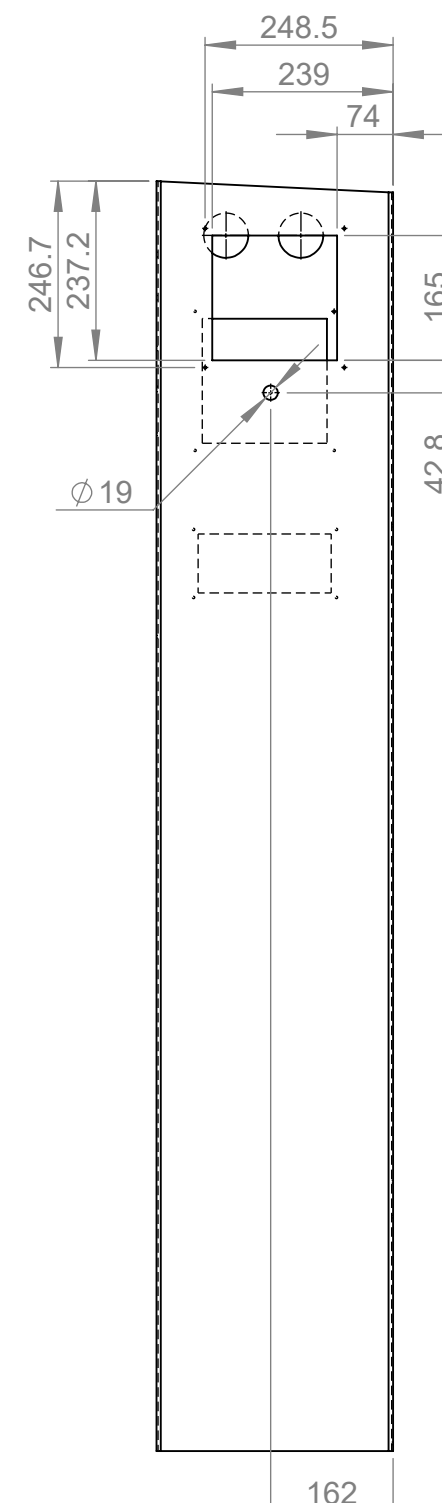
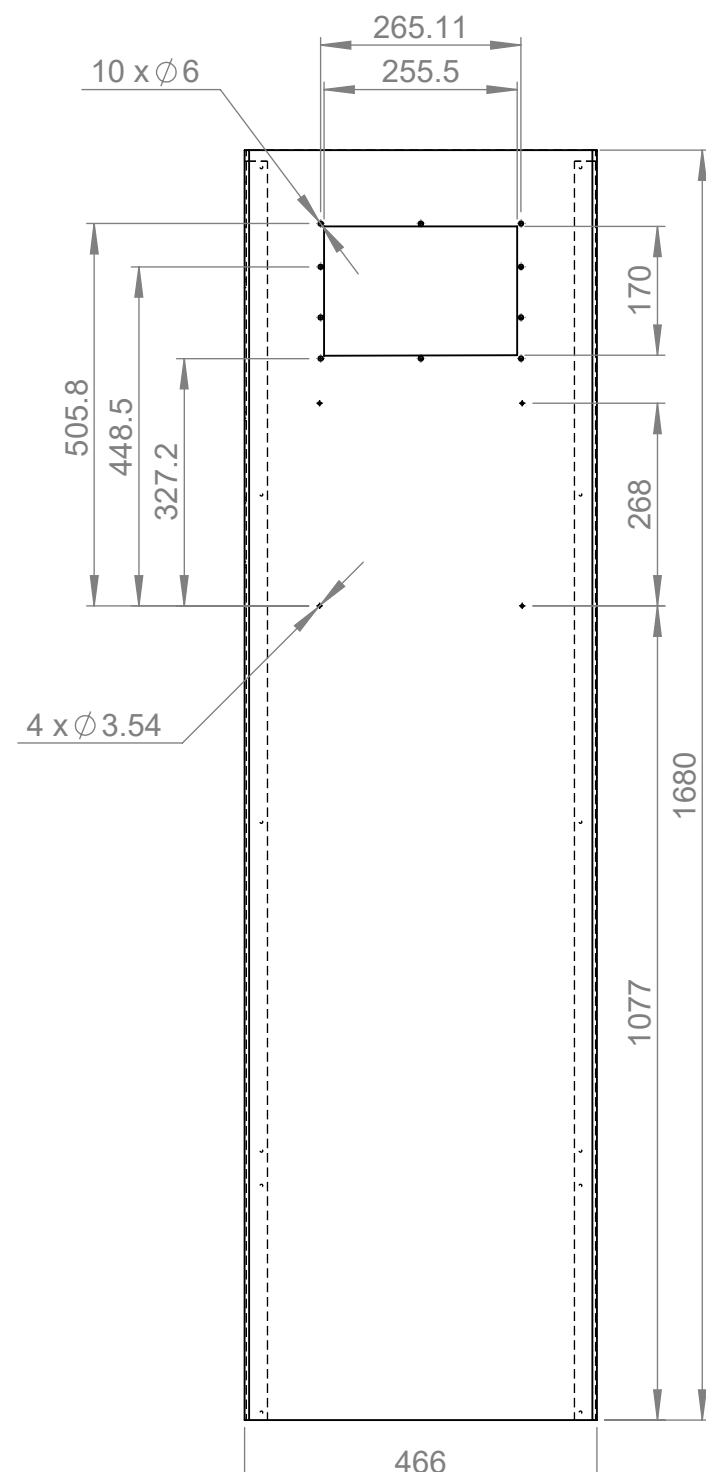
Nota: El espesor de la pieza es de 2 mm.

						696.72	g	PROYECTO: TÓTEM MEDIDOR DE CONDICIONES AMBIENTALES		

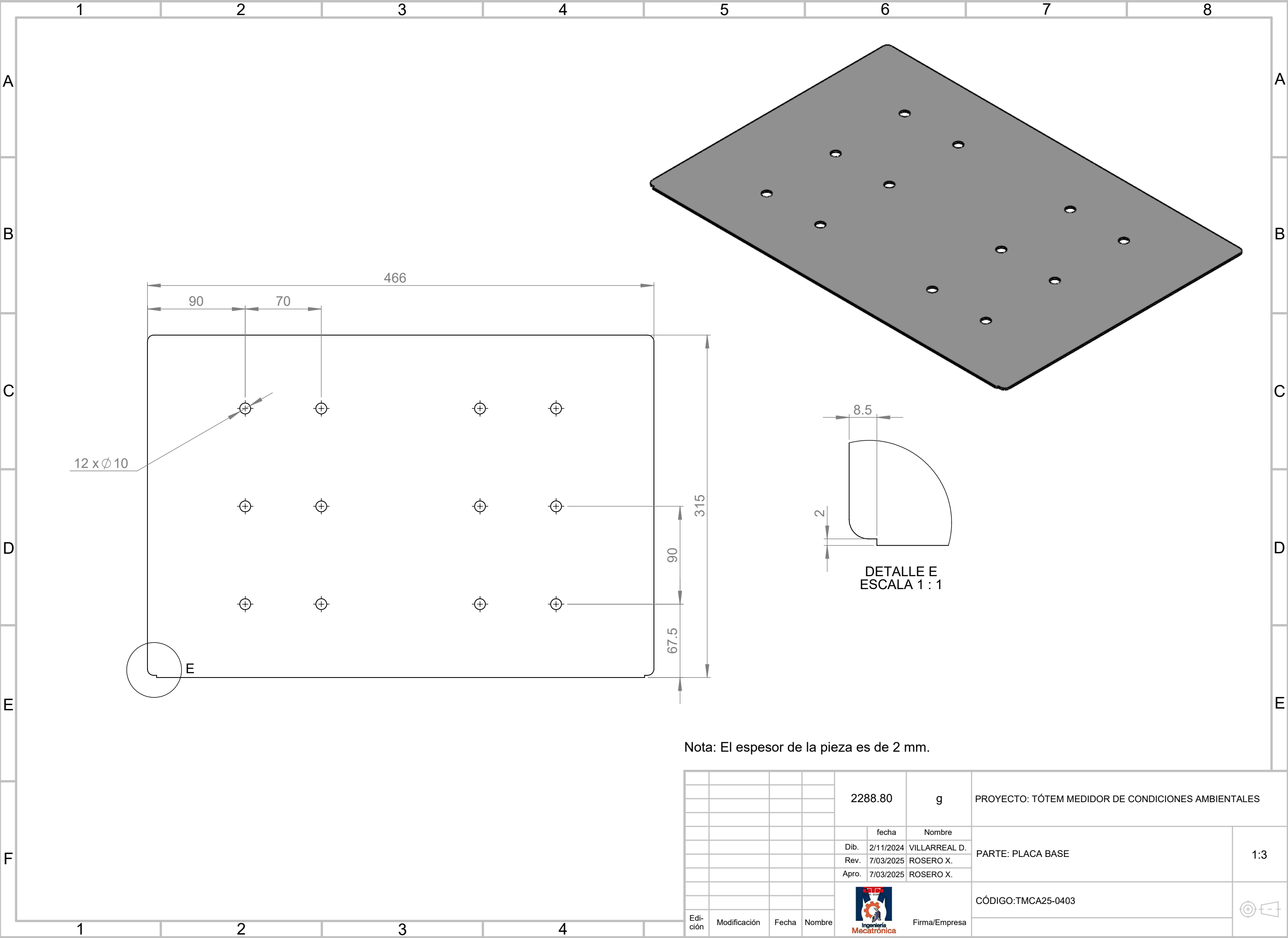


Nota: El espesor de la pieza es de 2 mm.

					2744.85	g	PROYECTO: TÓTEM MEDIDOR DE CONDICIONES AMBIENTALES	
							</	

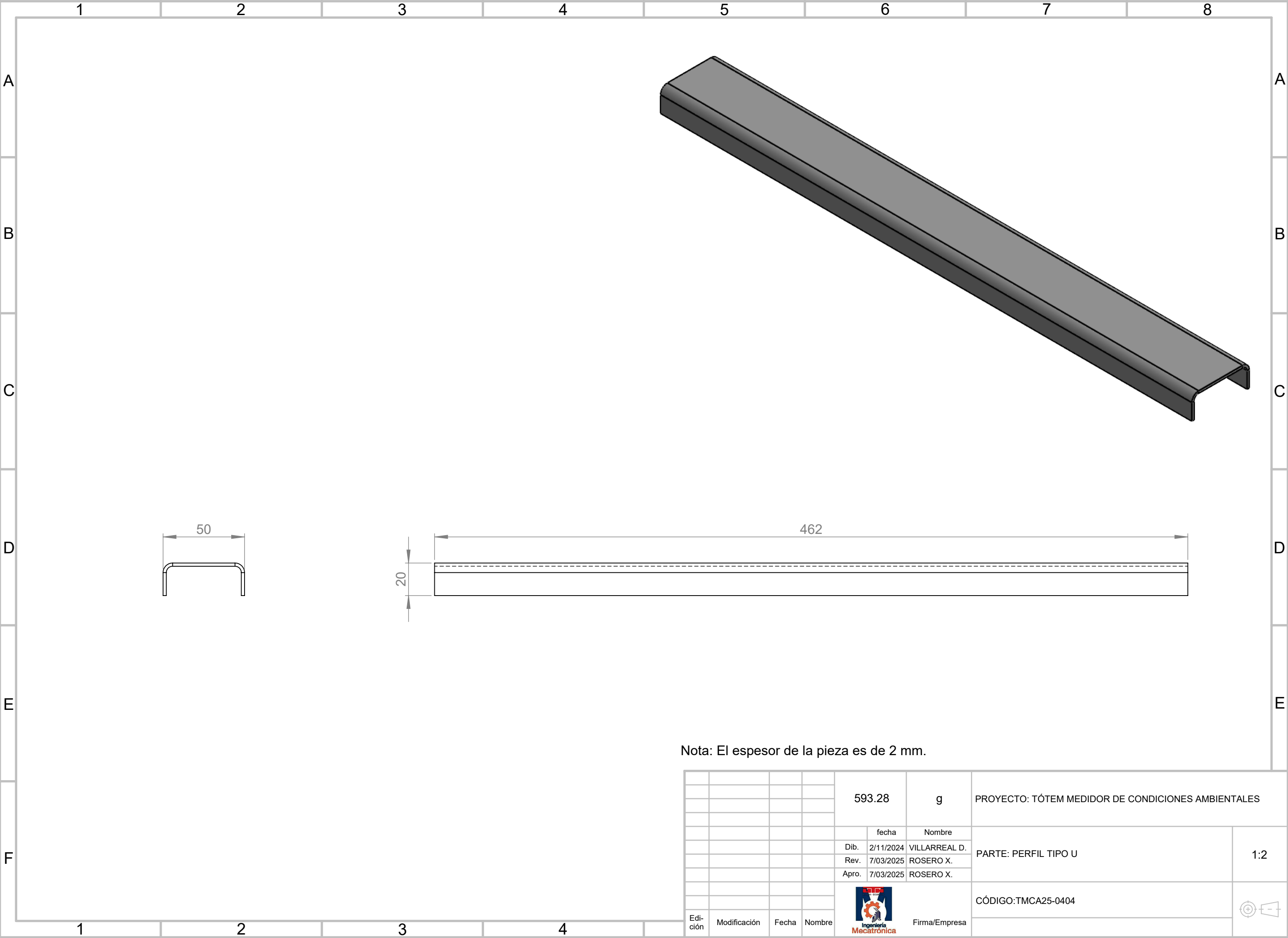


					28012.14	g	PROYECTO: TÓTEM MEDIDOR DE CONDICIONES AMBIENTALES	
						fecha	Nombre	
					Dib.	2/11/2024	VILLARREAL D.	
					Rev.	7/03/2025	ROSETO X.	1:10
					Apro.	7/03/2025	ROSETO X.	
								
							CÓDIGO:TMCA25-0402	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Firma/Empresa		



Nota: El espesor de la pieza es de 2 mm.

				2288.80	g	PROYECTO: TÓTEM MEDIDOR DE CONDICIONES AMBIENTALES	
						PARTE: PLACA BASE	1:3
				fecha	Nombre		
				Dib. 2/11/2024	VILLARREAL D.		
				Rev. 7/03/2025	ROSERO X.		
				Apro. 7/03/2025	ROSERO X.		
						CÓDIGO:TMCA25-0403	
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre	Firma/Empresa			



Nota: El espesor de la pieza es de 2 mm.

				593.28	g	PROYECTO: TÓTEM MEDIDOR DE CONDICIONES AMBIENTALES	
						PARTE: PERFIL TIPO U	1:2
						CÓDIGO:TMCA25-0404	
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre			Firma/Empresa	