

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
RESUMEN.....	iv
ÍNDICE GENERAL.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. ANTECEDENTES.....	2
1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.3. SOLUCIÓN PROPUESTA.....	4
1.4. OBJETIVOS.....	4
1.4.1. Objetivo general.....	4
1.4.2. Objetivos específicos.....	5
1.5. RESULTADOS ESPERADOS.....	5
1.6. METODOLOGÍA.....	5
1.6.1. Investigación de tecnología disponible.....	5
1.6.2. Pruebas y selección de componentes.....	6
1.6.3. Diseño y fabricación de dispositivos.....	6
1.6.4. Validación de datos obtenidos.....	7
1.6.5. Rutas y puntos de monitoreo.....	7
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....	9
2.1. CONTAMINACION DEL AIRE E IMPACTO EN LA SALUD.....	10
2.2. NORMATIVA PARA LA MEDICIÓN DE CALIDAD DE AIRE.....	12

2.3.	MÉTODOS DE DETECCIÓN DE GASES Y MATERIAL PARTICULADO	13
2.3.1.	Método MOS (<i>Metal Oxide Semiconductor</i>).....	14
2.3.2.	Método electromecánico para detección de gas	15
2.3.3.	Método NDIR (<i>Non-Dispersive InfraRed</i>).....	16
2.3.4.	Método Pellistors.....	17
2.3.5.	Método PID (<i>Photo-Ionization Detector</i>).....	18
2.3.6.	Método <i>Laser-Scattering</i>	19
2.4.	PROGRAMACIÓN.....	20
2.5.	SISTEMAS IOT	20
2.6.	OBTENCIÓN Y PREPROCESAMIENTO DE DATOS.....	21
CAPÍTULO 3. DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN A LA PROBLEMÁTICA		22
3.1.	SOLUCIÓN	23
3.1.1.	Apartados generales.....	23
3.1.2.	Alcances y restricciones	23
3.1.3.	Conectividad y comunicación	25
3.2.	DISPOSITIVO.....	25
3.2.1.	Selección de componentes.....	25
3.2.2.	Fabricación	26
3.2.3.	Manejo de muestras y envío de datos.....	27
3.2.4.	Especificaciones técnicas	28
3.3.	VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA.....	29
3.3.1.	Etapa inicial	29
3.3.1.1.	Medición de material particulado.....	30
3.3.1.2.	Medición de compuestos orgánicos volátiles.....	32
3.3.1.3.	Medición de Benceno.....	34

3.3.2.	Etapa en terreno	34
3.3.3.	Despliegue	36
3.4.	ANÁLISIS ECONÓMICO.....	39
CAPÍTULO 4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	40
4.1.	ANÁLISIS Y COMPARACIÓN CON RED LOCAL.....	41
	CONCLUSIONES.....	44
	REFERENCIAS	46
	ANEXO 1: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL MÓDULO ESP32	51
	ANEXO 2: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SENSOR DSM501A.....	52
	ANEXO 3: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SENSOR CJMCU-811	54
	ANEXO 4: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SENSOR MQ-3.....	56
	ANEXO 5: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL MÓDULO GPS Neo-6.....	58
	ANEXO 6: COTIZACIÓN DE COMPONENTE EMPRESA AFEL.....	59
	ANEXO 7: COTIZACIÓN DE COMPONENTE EMPRESA MECHATRONICSTORE...	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1: Representación del mecanismo MOS y el efecto eléctrico para la conductancia. Fuente: J.E. Thomson [17]	14
Figura 2-2: Principio de funcionamiento para un dispositivo electromecánico de gas tipo amperímetro. Fuente: J.E. Thomson [17].....	15
Figura 2-3: Descripción de un dispositivo típico NIRD. Fuente: J.E. Thomson [17]	16
Figura 2-4: Elementos principales de un sistema pellistor. Fuente: J.E. Thomson [17]	17
Figura 2-5: Componentes y principio de funcionamiento de un sensor PID. Fuente: J.E. Thomson [17]	18
Figura 2-6: Principio de medición Laser-Scattering. Dispositivo DSM501A. Fuente: Y. Wang, J. Li, H. Jing, Q. Zhang, J. Jiang, P. Biswas [36]	19
Figura 3-1: Montaje de componentes seleccionados. Fuente: Elaboración propia	27
Figura 3-2: Condiciones de monitoreo continuo comparativo a la estación formal de la red SINCA. Fuente: Elaboración propia.....	35
Figura 3-3: Despliegue de referencia para las zonas residenciales de la ciudad de Curicó. Fuente: Elaboración propia.....	37
Figura 3-4: Rutas de la locomoción colectiva local: a) Empresa Renacer Santa Fé-Boldo, b) Empresa Intercomunal Aguas Negras-Bombero Garrido, c) Empresa Intercomunal Aguas Negras-Rauquén, d) Empresa Intercomunal Aguas Negras-Santa Fé. Fuente: Moovitapp.com	38
Figura 4-1: Visualización de la página Cayenne desarrollada para la estación de monitoreo de calidad del aire. Fuente: Elaboración propia.	43
Figura 4-2: Especificaciones técnicas de módulo ESP32. Fuente: Espressif Systems [43]	51
Figura 4-3: Diagrama de funcionamiento y pines del sensor. Fuente: Dust Sensor Module[44]	52
Figura 4-4: características eléctricas para interpretación de valores. Fuente: Dust Sensor Module[44]	52
Figura 4-5: Resistencias para determinación de diámetro aéreo de partículas. Fuente: Dust Sensor Module[44]	52
Figura 4-6: Gráfico para determinar e interpretar señales. Fuente: Dust Sensor Module[44] ..	53

Figura 4-7: Principio físico para la medición de concentraciones. Fuente: Samyoungsnc S&C [45].....	53
Figura 4-8: Especificaciones eléctricas del sensor CJMCU-811. Fuente: AMS Datasheet [46]	54
Figura 4-9: Especificaciones generales de operación. Fuente: AMS Datasheet [46].....	54
Figura 4-10: Recomendaciones para la conexión del sensor al host. Fuente: AMS Datasheet [46].....	55
Figura 4-11: Especificaciones generales del sensor MQ 3. Fuente: Hanwei Electronics [47]..	56
Figura 4-12: Diagrama de sensibilidad características para diversos gases a 20°C con 65% de humedad relativa. Fuente: Hanwei Electronics [47]	56
Figura 4-13: Dependencia típica del sensor a la temperatura y humedad relativa. Fuente: Hanwei Electronics [47]	57
Figura 4-14: Estructura del módulo MQ-3. Fuente: Hanwei Electronics [47].....	57
Figura 4-15: Especificaciones generales para el módulo GPS Neo6. Fuente: U-blox [48]	58
Figura 4-16: Especificaciones eléctricas del módulo GPS Neo6. Fuente: U-blox [48]	58

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 3-1: Comparativa del monitoreo de material particulado PM _{2.5} en zona residencial de Curicó. Fuente: Elaboración propia.....	31
Gráfico 3-2: Comparativa para la calibración del sensor de COV's en condiciones controladas. Fuente: Elaboración propia.....	33
Gráfico 3-3: Gráfico comparativo entre el dispositivo desarrollado y la estación oficial de calidad de aire de la ciudad de Curicó. Fuente: Elaboración propia	36
Gráfico 4-1: Concentraciones de TCOV's medidos en ppm representadas por la herramienta gráfica de Cayenne. Fuente: Elaboración propia.....	41
Gráfico 4-2: Concentraciones de benceno medidos en µg/m ³ representadas por la herramienta gráfica de Cayenne. Fuente: Elaboración propia.....	42
Gráfico 4-3: Concentraciones de PM _{2.5} medidos en µg/m ³ representadas por la herramienta gráfica de Cayenne. Fuente: Elaboración propia.....	42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Mayores contaminantes, fuentes de procedencia y peligro a la salud humana.....	11
Tabla 3-1: Servicios básicos de operación	23
Tabla 3-2: Restricciones y alcances del dispositivo	24
Tabla 3-3: Componentes principales para dispositivo de medición	26
Tabla 3-4: Especificaciones técnicas generales del dispositivo	28
Tabla 3-5: Comparativa de datos estadísticos para monitoreo de material particulado	31
Tabla 3-6: Comparativa de datos estadísticos para monitoreo de TCOV's	33
Tabla 3-7: Definición de la escala del índice de calidad de aire por US-EPA 2016	34
Tabla 3-8: Costo asociado a los componentes seleccionados en la fabricación del dispositivo desarrollado.	39