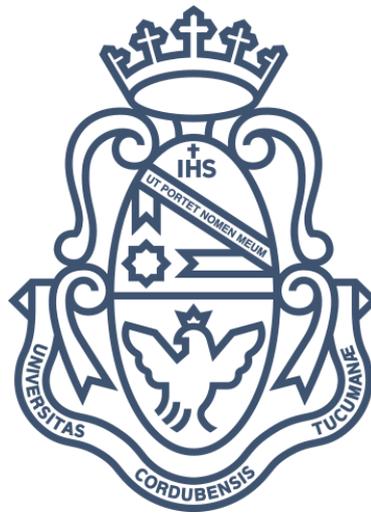


Universidad Nacional de Córdoba – Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales

Ingeniería Biomédica

Proyecto Integrador

Sistema de monitoreo de contaminantes atmosféricos para aplicaciones agropecuarias



Alumna:

de la Vega, Ana Laura 34.780.061

Director:

Mgter. Vanella, Oscar R.

Co-Director:

Dr. Abel G. López.



FCM
Facultad de
Ciencias Médicas

Córdoba, Noviembre de 2018

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

A mis abuelos Cuca y Nono, quienes confiaron siempre en mí y estaban seguros que este día llegaría. Aunque hoy no estén aquí, sé que están orgullosos y compartiendo su felicidad conmigo de que puede terminar esta etapa. Para ustedes, mis abuelos queridos...

Mi agradecimiento principal a dos personas que me acompañaron, guiaron y ayudaron desde el primer momento, Oscar Vanella y Rodrigo Bruni.

Mi agradecimiento especial a toda mi familia, a mi Nona, mis amigos y compañeros de facultad, todos ellos hicieron posible que hoy haya llegado hasta acá.

Deseo también agradecer al Dr. Abel López, al Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos, a la Dra. Marcela Palacio y al Dr. Pablo Cortina, al Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal y al Laboratorio de Diseño Integrado en Bioingeniería, por la ayuda brindada.

Cabe destacar que el presente proyecto integrador se realizó financiado con fondos del subsidio PID SECyT UNC “ESTUDIO Y MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD, INOCUIDAD Y SUSTENTABILIDAD EN VINOS PRODUCIDOS EN EL VALLE DE CALAMUCHITA DE CÓRDOBA, ARGENTINA” y co-financiado por el LIADE (Laboratorio de Investigación Aplicada y Desarrollo) – FCEFyN – UNC.

CONTENIDO

PORTADA

AGRADECIMIENTOS

CONTENIDO

I. RESÚMEN

II. ÍNDICES

2.1. ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

2.2. ÍNDICE DE TABLAS

III. INTRODUCCIÓN

IV. OBJETIVOS

V. MARCO TEÓRICO

5.1. EL AIRE

5.1.1. LA ATMÓSFERA

5.2. LA CONTAMINACIÓN

5.2.1. CLASIFICACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN

5.2.2. LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

5.2.3. CLASIFICACIÓN DE LOS CONTAMINANTES

5.2.3.1. SEGÚN SU ORIGEN.

5.2.3.2. SEGÚN SU MECANISMO DE FORMACIÓN.

5.2.3.3. SEGÚN SU NATURALEZA.

5.2.3.4. SEGÚN SU ESTADO FÍSICO.

5.2.3.5. SEGÚN SU COMPOSICIÓN QUÍMICA.

5.2.3.6. SEGÚN SU TOXICIDAD.

5.2.3.7. SEGÚN SU GRADO DE DEGRADACIÓN.

5.2.3.8. SEGÚN SU DISTRIBUCIÓN ESPACIAL.

5.2.4. CONTAMINANTES RELACIONADOS CON LOS CULTIVOS DE VID

5.2.4.1. GASES ORGÁNICOS VOLÁTILES

5.2.4.2. GASES ORGÁNICOS E INORGÁNICOS VOLÁTILES: HERBICIDAS

5.2.4.2.1. APLICACIÓN DE HERBICIDAS: CULTIVOS DE VID

5.2.4.2.1.1. ALGUNOS HERBICIDAS PARA CONTROL DE MALEZAS EN VID UTILIZADOS EN EL PAÍS

5.2.4.3. LOS PLAGUICIDAS

5.2.4.4. CLORPIRIFÓS

5.2.4.5. PIRFOS GLEX

5.3. MEDICIÓN DE CONTAMINANTES

5.3.1. MÉTODOS DE MEDICIÓN DE CONTAMINANTES

5.3.1.1. MUESTREO PASIVO

5.3.1.2. MUESTREO ACTIVO

5.3.1.3. METODO AUTOMÁTICO

5.3.1.4. METODO ÓPTICO POR PERCEPCIÓN REMOTA

5.3.2. MÉTODO SELECCIONADO PARA EL MONITOREO

5.3.2.1. MÉTODOLOGÍA DEL MUESTREO ACTIVO

5.3.2.2. TIPOS DE CONTAMINANTES QUE DETECTA

5.3.2.3. ELEMENTOS UTILIZADOS EN EL SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA

5.3.2.4. METODOLOGÍA POST-MUESTREO

5.3.2.4.1. PROCEDIMIENTO

- 5.3.2.5.VARIABLES A CONSIDERAR
 - 5.3.2.5.1. MONITOREO METEOROLÓGICO
 - 5.3.2.5.2. SELECCIÓN DE SITIOS DE MONITOREO
 - 5.3.2.5.3. EQUIPOS DE MEDICIÓN DE VARIABLES METEOROLÓGICAS
 - 5.3.2.6.PROCEDIMIENTOS HABITUALES
 - 5.3.2.7.EQUIPOS COMERCIALIZADOS
- 5.4.MEDICIÓN DE VELOCIDAD DEL AIRE
 - 5.4.1. CONCEPTO Y CARACTERÍSTICAS DE LA VELOCIDAD
 - 5.4.2. MÉTODOS DE MEDICIÓN
 - 5.4.2.1.MEDIDOR DE PRESIÓN DIFERENCIAL
 - 5.4.2.1.1. PLACA DE ORIFICIO
 - 5.4.2.1.2. TOBERAS
 - 5.4.2.1.3. TUBO DE VENTURI
 - 5.4.2.1.4. TUBO DE PITOT
 - 5.4.2.1.5. TUBO ANNUBAR
 - 5.4.2.1.6. CODO
 - 5.4.2.1.7. MEDIDOR DE ÁREA VARIABLE
 - 5.4.2.2.MEDIDOR DE TURBINA
 - 5.4.2.3.MEDIDOR DE CAUDAL ELECTROMAGNÉTICO
 - 5.4.2.4.MEDIDOR ULTRASÓNICO
 - 5.4.2.4.1. MEDIDOR ULTRASÓNICO POR IMPULSOS
 - 5.4.2.4.2. MEDIDOR ULTRASÓNICO POR EFECTO DOPPLER
 - 5.4.2.5.MEDIDOR DE FLUJO MASÍCO
 - 5.4.2.5.1. MEDIDOR DE FLUJO MASÍCO POR EFECTO CORIOLIS
 - 5.4.2.5.2. MEDIDOR DE FLUJO MASÍCO POR EFECTO TÉRMICO
 - 5.4.3. MEDIDOR DE FLUJO MASÍCO POR EFECTO TÉRMICO
 - 5.4.3.1.CARACTERÍSTICAS
 - 5.4.3.2.CLASIFICACIÓN
 - 5.4.3.3.METODOLOGÍA DE MEDICIÓN
 - 5.4.3.3.1. PELÍCULA CALIENTE
 - 5.4.3.3.2. HILO CALIENTE

VI. DESARROLLO

- 6.1.INTRODUCCIÓN
- 6.2.SITUACIÓN INICIAL
 - 6.2.1. PLANTEO DEL PROBLEMA A RESOLVER
- 6.3.PROPUESTAS Y SELECCIÓN
 - 6.3.1. OPCIONES DE MOTORES - SELECCIÓN Y JUSTIFICACIÓN
 - 6.3.2. OPCIONES DE MEDIDORES DE FLUJO DE MASA DE AIRE - SELECCIÓN Y JUSTIFICACIÓN
 - 6.3.3. OPCIONES DE MICROCONTROLADORES Y PLATAFORMAS MICROCONTROLADORAS - SELECCIÓN Y JUSTIFICACIÓN
 - 6.3.4. OPCIONES DE FUENTES ALIMENTACIÓN - SELECCIÓN Y JUSTIFICACIÓN
- 6.4.DISEÑO DEL PROTOTIPO
 - 6.4.1. DIAGRAMA EN BLOQUES DEL PROTOTIPO
 - 6.4.1.1.CARCASA
 - 6.4.1.1.1. DISEÑO DE TOBERA CONVERGENTE-DIVERGENTE

- 6.4.1.1.2. LIMITACIONES EN EL DISEÑO
- 6.4.1.1.3. IMPRESIÓN 3D
- 6.4.1.2. MEDIDOR DE VELOCIDAD Y TEMPERATURA
 - 6.4.1.2.1. PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN DE VELOCIDAD Y TEMPERATURA PARA CÁLCULO DE CAUDAL
- 6.4.1.3. GENERADOR DE FLUJO
 - 6.4.1.3.1. GENERALIDADES DEL MOTOR
 - 6.4.1.3.2. MOTOR ELÉCTRICO
 - 6.4.1.3.3. CLASIFICACIÓN DE MOTORES BRUSHLESS
 - 6.4.1.3.4. FUNCIONAMIENTO DE MOTORES BRUSHLESS
 - 6.4.1.3.5. SEÑAL POR MODULACIÓN POR ANCHO DE PULSO
 - 6.4.1.3.6. INTERPRETACIÓN DE LA NOMECLATURA DE LOS MOTORES BRUSHLESS
 - 6.4.1.3.7. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE MOTORES BRUSHLESS
- 6.4.1.4. VARIADOR ELECTRÓNICO DE VELOCIDAD
 - 6.4.1.4.1. FACTORES A CONSIDERAR PARA LA SELECCIÓN DE UN VARIADOR ELECTRÓNICO DE VELOCIDAD
- 6.4.1.5. MICROCONTROLADOR
 - 6.4.1.5.1. PROGRAMA ARDUINO
- 6.4.1.6. INTERFAZ DE USUARIO
 - 6.4.1.6.1. TECLADO
 - 6.4.1.6.2. DISPLAY LCD
- 6.4.1.7. FUENTE DE ALIMENTACIÓN
 - 6.4.1.7.1. BATERÍA LIPO
 - 6.4.1.7.2. BATERÍA 9V
- 6.4.1.8. CONVERSOR DC-DC BOOST
- 6.5. PUESTA EN MARCHA
- 6.6. MEDICIONES
 - 6.6.1. CARACTERIZACIÓN DE LA CURVA (MEDICIÓN SIN MATERIAL ADSORBENTE)
 - 6.6.2. MEDICIONES CON CARGA (MATERIAL ADSORBENTE)
 - 6.6.2.1. TUBOS ADSORBENTES
 - 6.6.2.2. CARBÓN ACTIVADO
- 6.7. RESULTADOS
- VII. CONCLUSIONES
- VIII. BIBLIOGRAFÍA
- IX. ANEXO
 - 9.1. NORMATIVA AMBIENTAL
 - 9.1.1. ANTECEDENTES A NIVEL NACIONAL Y PROVINCIAL
 - 9.1.2. LEGISLACIÓN VIGENTE A NIVEL NACIONAL Y PROVINCIAL
 - 9.2. PROGRAMA ARDUINO DEL PROTOTIPO MEDIDOR DE LA CALIDAD DEL AIRE
 - 9.3. ANÁLISIS DE COSTOS DEL PROTOTIPO MEDIDOR DE LA CALIDAD DEL AIRE EN APLICACIONES AGROPECUARIAS

I. RESÚMEN

El presente trabajo consiste en el desarrollo de un sistema dinámico de monitoreo para la medición de contaminantes atmosféricos en aplicaciones agropecuarias. Se pretende elaborar un prototipo que permita evaluar cualitativamente la calidad del aire en una zona determinada, mediante la identificación de posibles plaguicidas presentes en el área donde se lleva a cabo el monitoreo aéreo.

Asimismo, se plantea la posibilidad de fabricar un equipo de monitoreo de la calidad del aire cuyo período de medición es significativamente menor, en comparación con los equipos que se comercializan en la actualidad, como así también su costo.

II. ÍNDICES

2.1 ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 5. 1. Capas de la Atmósfera.	18
Figura 5. 2. Efectos del glifosato en el medio ambiente y la salud humana.....	31
Figura 5. 3. Procesos que afectan a los plaguicidas.	36
Figura 5. 4. Presentación comercial del plaguicida PIRFOS GLEX.	39
Figura 5. 5. Tubo adsorbente de carbón activo.....	46
Figura 5. 6. Tubo "Denuder".	47
Figura 5. 7. Cromatograma obtenido, utilizando el programa de temperatura corto, de una mezcla de concentración 0,1 mg/ml de los insecticidas estudiados, donde: (1) lindano, (2) heptacloro, (3) clorpirifos, (4) endosulfan-I, (5) endosulfan –II, (6) endosulfan sulfato, (7) tetradifon, (8) cihalotrin y (9) acrinatrin.	51
Figura 5. 8. Esquema de un espectrómetro de masas.	53
Figura 6. 1. Mapa con la localización de Fincas, Viñedos y Bodegas en el Valle de Santa Rosa de Calamuchita, Córdoba, Argentina.	69
Figura 6. 2. Dimensionamiento tobera convergente-divergente según Norma ISO 9300.	87
Figura 6. 3. Primeros 5 pasos de la fabricación manual de tobera convergente-divergente.	88
Figura 6. 4. Últimos 5 pasos de la fabricación manual de tobera convergente – divergente.	89
Figura 6. 5. Diseño en el software SolidWorks de la tobera convergente-divergente del prototipo medidor de la calidad del aire.	92
Figura 6. 6. Diseño en el software SolidWorks de la base del prototipo medidor de la calidad del aire.....	93
Figura 6. 7. Diseño en el software SolidWorks de la tapa del prototipo medidor de la calidad del aire.....	94
Figura 6. 8. Diseño en el software SolidWorks de la tapa de la base del prototipo medidor de la calidad del aire.	94
Figura 6. 9. Diseño en el software SolidWorks del prototipo medidor de la calidad del aire.	95
Figura 6. 10. Vista frontal del diseño en el software SolidWorks del prototipo medidor de la calidad del aire.	96
Figura 6. 11. Vista lateral izquierda del diseño en el software SolidWorks del prototipo medidor de la calidad del aire.....	97
Figura 6. 12. Vista lateral derecha del diseño en el software SolidWorks del prototipo medidor de la calidad del aire.....	98
Figura 6. 13. Vista posterior del diseño en el software SolidWorks del prototipo medidor de la calidad del aire.	99

Figura 6. 14. Vista Superior del diseño en el software SolidWorks del prototipo medidor de la calidad del aire.	100
Figura 6. 15. Vista inferior del diseño en el software SolidWorks del prototipo medidor de la calidad del aire.	101
Figura 6. 16. Vista frontal de la impresión 3D del prototipo.	102
Figura 6. 17. Vista superior de la impresión 3D del prototipo.	103
Figura 6. 18. Vista lateral izquierda de la impresión 3D del prototipo.	104
Figura 6. 19. Vista posterior de la impresión 3D del prototipo.	105
Figura 6. 20. Vista lateral derecha de la impresión 3D del prototipo.	106
Figura 6. 21. Circuito electrónico de la resistencia térmica del sensor MAF.	107
Figura 6. 22. Ubicación de la resistencia térmica del sensor MAF.	108
Figura 6. 23 . Inspección del sensor de flujo de masa de aire con un multímetro.	109
Figura 6. 24 .Inspección del sensor IAT con un multímetro.	109
Figura 6. 25. Circuito electrónico del sensor de temperatura IAT.	110
Figura 6. 26. Características de un gráfico de referencia del sensor IAT.	111
Figura 6. 27. Sensor MAF Hellux.	112
Figura 6. 28. Pines de salida del sensor MAF.	113
Figura 6. 29. Configuración interna motor DC sin escobillas o brushless.	117
Figura 6. 30. Señal de modulación por ancho de pulso.	119
Figura 6. 31. Hoja de datos del motor eléctrico brushless HD3536-1520Kv/1270Kv.	121
Figura 6. 32. Variador electrónico de velocidad-ESC-50 A con BEC.	125
Figura 6. 33. Placa de desarrollo Arduino MEGA 2560.	125
Figura 6. 34. Imagen de la conexión de las filas y columnas asignadas para cada tecla del teclado matricial del prototipo.	128
Figura 6. 35. Imagen del teclado matricial del prototipo.	129
Figura 6. 36. Imagen del teclado matricial del prototipo (Impresión 3D).	129
Figura 6. 37. LCD 16x2.	130
Figura 6. 38. Batería de 9V Energizer.	133
Figura 6. 39. Batería LiPo HRB 11.1V 5000mAh 3S 50C-100C.	135
Figura 6. 40. Convertidor DC-DC Boost XL6009.	136
Figura 6. 41. Curva de caracterización del sensor MAF.	146
Figura 6. 42. Curva de caracterización del sensor IAT.	148
Figura 6. 43. Tubo adsorbente de dos secciones.	150
Figura 6. 44. Disposición del filtro en el interior del tubo de alambre de aluminio.	152
Figura 6. 45. Prototipo del tubo adsorbente preparado para ser utilizado.	153

Figura 6. 46. Prototipo del tubo adsorbente en el interior de una bolsa de polietileno, para evitar la contaminación del material adsorbente.	154
Figura 6. 47. Prototipo del tubo adsorbente en el interior de una bolsa de polietileno, para evitar la contaminación del material adsorbente.	155
Figura 6. 48. Preparativos para la toma de la muestra en la cámara.	155
Figura 6. 49. Puesta en funcionamiento del prototipo de medición previo a la aplicación del plaguicida en la cámara.	156
Figura 6. 50. Aplicación del plaguicida a detectar (interior de la cámara).....	156
Figura 6. 51. Toma de la muestra durante el funcionamiento del prototipo (interior de la cámara).	157
Figura 6. 52. Muestra obtenida de las mediciones con el prototipo medidor con carga.	158
Figura 6. 53. Filtro utilizado en la medición del plaguicida PIRFOS GLEX.....	158
Figura 6. 54. Desorción de los compuestos activos retenidos en el carbón activado con n-hexano.....	159
Figura 6. 55. Evaporador rotatorio con vacío para el proceso de concentración de la muestra.	159
Figura 6. 56. Datos del espectro de masas de Clorpirifos.	161
Figura 6. 57. Cromatograma de la Muestra 1.	163
Figura 6. 58. Ampliación de la zona de interés de la muestra 1.....	165
Figura 6. 59. Resultados del análisis del espectro de masa de la muestra 1.....	166

2.2 ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 6. 1. Disposición de los pines de salida del sensor MAF.	113
Tabla 6. 2. Mediciones del prototipo sin carga.....	143
Tabla 6. 3. Resultados V-Q.	145
Tabla 6. 4. Resultados T-R.	148

III. INTRODUCCIÓN

La contaminación del aire es uno de los principales problemas ambientales y de salud pública a nivel mundial. Se trata de un fenómeno propio del estado económico, poblacional y tecnológico de un país. Asimismo, la contaminación atmosférica es uno de los problemas con mayor dificultad para la prevención, evaluación, regulación y control, entre otras causas, por las múltiples fuentes emisoras, transformación de contaminantes en la atmósfera y la forma en la que afectan la salud de las personas o también a los ecosistemas.

El cambio climático y la calidad del aire dependen de la emisión, transformación y transporte de diversos componentes de la atmósfera y su interacción con la radiación solar.

Para medir y evaluar la calidad del aire en una población, en particular, y sus recursos naturales, es imprescindible disponer de sistemas, redes y programas ajustados a la medición de la calidad del aire.

La provincia de Córdoba cuenta con una gran superficie, del orden de las millones de hectáreas, las cuales, en su mayoría, presentan un elevado potencial de capacidad productiva agrícola y/o ganadera, lo cual convierte al sector agropecuario en uno de los pilares económicos de la provincia.

Los productos químicos y biológicos de uso agropecuario, denominados agroquímicos, constituyen uno de los principales insumos en la producción agrícola. Todos los plaguicidas (agrícolas y dormisaneantes o de control de plagas urbanas) se caracterizan por presentar un determinado grado de toxicidad, razón por la cual su uso debe ser controlado y reglamentado. Sin embargo, en un número considerable de ocasiones las leyes que aseguran protección de la salud humana, de los recursos naturales y de la producción agropecuaria no se cumplen.

Además, los sistemas, redes y programas de monitoreo de la calidad del aire implican la puesta en marcha de centros de monitoreo provistos con equipamiento de elevado costo, como así también la necesidad de capacitación del personal técnico a cargo.

Se justifica de esta manera, la propuesta de un prototipo medidor de la calidad del aire en aplicaciones agropecuarias, que permita llevar a cabo el monitoreo aéreo en una zona en particular, para luego determinar cualitativamente la presencia de plaguicidas en la misma.

IV. OBJETIVOS

- Investigar el estado del arte en métodos de muestreo y detección de contaminantes atmosféricos.
- Identificar un método de muestreo para el cual sea factible la implementación de un prototipo.
- Realizar la implementación práctica de un prototipo medidor de la calidad del aire para detección de contaminantes.
- Continuar con las líneas de trabajo del LIADE en el área de aplicaciones no humanas de la bioingeniería.

V. MARCO TEÓRICO

5.1. EL AIRE

5.1.1. LA ATMÓSFERA

5.2. LA CONTAMINACIÓN

5.2.1. CLASIFICACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN

5.2.2. LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

5.2.3. CLASIFICACIÓN DE LOS CONTAMINANTES

5.2.3.1. SEGÚN SU ORIGEN

5.2.3.2. SEGÚN SU MECANISMO DE FORMACIÓN

5.2.3.3. SEGÚN SU NATURALEZA

5.2.3.4. SEGÚN SU ESTADO FÍSICO

5.2.3.5. SEGÚN SU COMPOSICIÓN QUÍMICA

5.2.3.6. SEGÚN SU TOXICIDAD

5.2.3.7. SEGÚN SU DISTRIBUCIÓN ESPACIAL

5.2.4. CONTAMINANTES RELACIONADOS CON LOS CULTIVOS DE VID

5.2.4.1. GASES ORGÁNICOS VOLÁTILES

5.2.4.2. GASES ORGÁNICOS E INORGÁNICOS VOLÁTILES: HERBICIDAS

5.2.4.2.1. APLICACIÓN DE HERBICIDAS: CULTIVOS DE VID

5.2.4.2.1.1. ALGUNOS HERBICIDAS PARA EL CONTROL DE MALEZAS EN VID UTILIZADOS EN EL PAÍS

5.2.4.3. LOS PLAGUICIDAS

5.2.4.4. CLORPIRIFÓS

5.2.4.5. PIRFOS GLEX

5.3. MEDICIÓN DE CONTAMINANTES

5.3.1. MÉTODOS DE MEDICIÓN DE CONTAMINANTES

5.3.1.1. MUESTREO PASIVO

5.3.1.2. MUESTREO ACTIVO

5.3.1.3. METODO AUTOMÁTICO

5.3.1.4. METODO ÓPTICO POR PERCEPCIÓN REMOTA

5.3.2. MÉTODO SELECCIONADO PARA EL MONITOREO

5.3.2.1. MÉTODOLOGÍA DEL MUESTREO ACTIVO

5.3.2.2. TIPOS DE CONTAMINANTES QUE DETECTA

5.3.2.3. ELEMENTOS UTILIZADOS EN EL SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA

5.3.2.4. METODOLOGÍA POST-MUESTREO

5.3.2.4.1. PROCEDIMIENTO

5.3.2.5. VARIABLES A CONSIDERAR

5.3.2.5.1. MONITOREO METEOROLÓGICO

5.3.2.5.2. SELECCIÓN DE SITIOS DE MONITOREO

5.3.2.5.3. EQUIPOS DE MEDICIÓN DE VARIABLES METEOROLÓGICAS

5.3.2.6. PROCEDIMIENTOS HABITUALES

5.3.2.7. EQUIPOS COMERCIALIZADOS

5.4. MEDICIÓN DE VELOCIDAD DEL AIRE

5.4.1. CONCEPTO Y CARACTERÍSTICAS DE LA VELOCIDAD

5.4.2. MÉTODOS DE MEDICIÓN

- 5.4.2.1. MEDIDOR DE PRESIÓN DIFERENCIAL
 - 5.4.2.1.1. PLACA DE ORIFICIO
 - 5.4.2.1.2. TOBERAS
 - 5.4.2.1.3. TUBO DE VENTURI
 - 5.4.2.1.4. TUBO DE PITOT
 - 5.4.2.1.5. TUBO ANNUBAR
 - 5.4.2.1.6. CODO
- 5.4.2.2. MEDIDOR DE ÁREA VARIABLE
- 5.4.2.3. MEDIDOR DE TURBINA
- 5.4.2.4. MEDIDOR DE CAUDAL ELECTROMAGNÉTICO
- 5.4.2.5. MEDIDOR ULTRASÓNICO
 - 5.4.2.5.1. MEDIDOR ULTRASÓNICO POR IMPULSOS
 - 5.4.2.5.2. MEDIDOR ULTRASÓNICO POR EFECTO DOPPLER
- 5.4.2.6. MEDIDOR DE FLUJO MASÍCO
 - 5.4.2.6.1. MEDIDOR DE FLUJO MASÍCO POR EFECTO CORIOLIS
 - 5.4.2.6.2. MEDIDOR DE FLUJO MASÍCO POR EFECTO TÉRMICO
- 5.4.3. MEDIDOR DE FLUJO MASÍCO POR EFECTO TÉRMICO
 - 5.4.3.1. CARACTERÍSTICAS
 - 5.4.3.2. CLASIFICACIÓN
 - 5.4.3.3. METODOLOGÍA DE MEDICIÓN
 - 5.4.3.3.1. PELÍCULA CALIENTE
 - 5.4.3.3.2. HILO CALIENTE

5.1 EL AIRE

El aire es el resultado de la mezcla de gases que componen la atmósfera de la Tierra. Así como sucede con el agua, el aire es un elemento esencial para asegurar vida en el planeta.

Se compone principalmente de 21 partes de oxígeno y 78 partes de nitrógeno y proporciones variables de vapor de agua, gases nobles y dióxido de carbono. El equilibrio de esta concentración permite que los seres humanos puedan respirar sin ser afectada su salud. Sin embargo, el aire que se respira puede ser alterado debido a la presencia de otros compuestos.¹

Por tratarse de una mezcla compleja de varios elementos, el aire presenta propiedades y características físicas propias, tales como:

Temperatura²

La temperatura es una magnitud escalar que mide la cantidad de energía térmica que tiene un cuerpo. Se trata de una magnitud estadística, razón por la cual no es posible medirla directamente. Para llevar a cabo la medición es necesario el uso de diferentes magnitudes que varíen con ella, tales como la altura de la columna de mercurio, la resistencia eléctrica o el volumen y la presión de un gas, las cuales reciben el nombre de magnitudes termométricas.

En el caso de los gases su valor es proporcional a la energía cinética media de las moléculas. En un sólido, los movimientos en cuestión son las vibraciones dentro del mismo.

El instrumento de medición que permite relacionar una magnitud termométrica con la temperatura, se conoce como termómetro.

Existen diferentes tipos de termómetros, según la magnitud física a medir y qué modificación ocurre con la variación de la temperatura, tales como:

- Propiedades eléctricas:
 - Resistencia:
 - Semiconductor: termistor.
 - Platino: termómetro de platino.
 - Efecto termoeléctrico:
 - Termopar.
 - Radiación térmica:
 - Radiación infrarroja:
 - Termómetro infrarrojo.
 - Luz visible:
 - Pirómetro infrarrojo.
- Dilatación:

¹ Helena Curtis y N. Sue Barnes. 2006. Biología Sexta Edición en Español. Madrid, España. Editorial Médica Panamericana.

² Young, Hugh D y Roger A. Freedman. (2004). Física universitaria volumen 1. Decimosegunda edición. Person Educación de México S.A. de C.V.

- Sólidos:
 - Cambio de longitud: termómetro bimetalico.
- Líquidos:
 - Columna de mercurio: termómetro de mercurio.
 - Columna de alcohol coloreado: termómetro de alcohol.
- Gases:
 - Cambio de volumen: termómetro de gas a presión constante.
 - Cambio de presión: termómetro de gas a volumen constante.

Las escalas de medición utilizadas para medir la temperatura son:

- Escala Celsius.
- Escala Fahrenheit.
- Escala Kelvin.

El Kelvin es la unidad básica de temperatura del Sistema Internacional de Unidades.

Teniendo en cuenta que t_C , t_F y T es la temperatura expresada en grados centígrados, Fahrenheit y Kelvin respectivamente, es posible llevar a cabo las siguientes conversiones entre escalas.

- Conversión entre Celsius y Fahrenheit:

$$\frac{t_C - 0}{100} = \frac{t_F - 32}{180} \Rightarrow \frac{t_C}{5} = \frac{t_F - 32}{9}$$

- Conversión entre Celsius y Kelvin:

$$T = t_C + 273.15$$

El cero absoluto corresponde a -273.15°C .

- Conversión entre Fahrenheit y Kelvin:

$$\frac{T - 273.15}{5} = \frac{t_F - 32}{9}$$

El cero absoluto corresponde a -459.67°F .

Densidad

La densidad (ρ) es una magnitud referida a la cantidad de masa contenida en un determinado volumen, sinónimo de masa volumétrica.

Las unidades de medición de densidad en el Sistema Internacional de Unidades son: Kilogramo sobre metro cubico (kg/m^3) y gramo sobre centímetro cúbico (g/cm^3).

- Densidad absoluta

La densidad absoluta, también denominada densidad real, expresa la masa por unidad de volumen. El termino densidad suele entenderse en el sentido de densidad absoluta, cuando no se realiza aclaración alguna al respecto. La densidad es una propiedad intensiva de la materia, producto de dos propiedades extensivas: masa y volumen.

- Densidad relativa

La densidad relativa expresa la relación entre la densidad de una sustancia y la densidad del agua, resultando una magnitud adimensional. La densidad del agua tiene un valor de 1kg/l, a las condiciones de 1 atm y 4°C, equivalente a 1000 kg/m³.

- Densidad media y puntual

Para un material homogéneo, la fórmula masa/volumen puede aplicarse sin condicionamientos. Sin embargo, en un objeto no homogéneo, se puede medir la densidad media, aplicando la fórmula masa/volumen a todo el objeto, o la densidad puntual que será diferente en cada punto del mismo.

La densidad media de un material no es una propiedad intrínseca del mismo y depende de la forma en la que el material haya sido tratado.

Presión³

La presión está definida como la relación entre la fuerza aplicada a una determinada superficie. Existen tres tipos de presión: atmosférica, efectiva o relativa y absoluta.

- Presión absoluta

Concepto relacionado con la presión medida tomando como referencia el cero absoluto de temperatura.

La presión absoluta es igual a cero cuando la proporción de moléculas, en estado gaseoso, o la velocidad molecular es muy pequeña

- Presión atmosférica

Se refiere a la presión hidrostática del aire que rige en ese lugar. La misma resulta equivalente al peso de la columna atmosférica que existe en la superficie de la tierra o sobre cualquier cuerpo que se encuentre en ella.

La presión atmosférica a nivel del mar es de 101325 Pa = 101,325 kPa, en condiciones normales, disminuyendo éstos valores con la altitud.

La unidad de medición de la presión atmosférica en el Sistema Internacional de Unidades es el newton por metro cuadrado (N/m²) o Pascal (Pa).

- Presión relativa

También llamada presión efectiva, es el resultado de la diferencia entre la presión determinada en un punto, menos la presión atmosférica en sus alrededores.

Para llevar a cabo la medición de esta magnitud se utiliza un elemento de medición denominado manómetro.

5.1.1. LA ATMÓSFERA

La atmósfera es la capa gaseosa que rodea a la Tierra y otros cuerpos celestes⁴, constando de unos 200 Km. de espesor. Posibilitando la vida en el planeta Tierra,

³ Young, Hugh D y Roger A. Freedman. (2004). Física universitaria volumen 1. Decimosegunda edición. Person Educación de México S.A. de C.V.

⁴ Diccionario Real Academia Española. Página web: dle.rae.es.

otorgando protección mediante la absorción de gran parte de la radiación solar ultravioleta en la capa de ozono, e impidiendo que los rayos del sol la atraviesen.

Es un medio continuo a través del cual son transportados y dispersados los contaminantes.

La atmosfera terrestre está compuesta por cinco capas (*Figura 5.1.*):

- Tropósfera

Es la capa atmosférica más cercana a la superficie terrestre, lugar donde ocurren los fenómenos meteorológicos. La tropósfera contiene el 75% de la masa atmosférica

El calentamiento desigual de las regiones de la tropósfera por el Sol causa la convección de corrientes de aire y vientos. Los intercambios de calor se producen por turbulencias e intercambios de agua por precipitación y evaporación.

- Estratósfera

Se encuentra sobre la Tropósfera y debajo de la Mesósfera, con una profundidad de 35 km aproximadamente. En esta capa se encuentra la capa de ozono, la cual brinda protección de la radiación ultravioleta del sol.

- Mesósfera

Se localiza entre la Termósfera y la Estratósfera. En esta capa los gases están mezclados y no estratificados por su masa.

Se trata de una capa fría cuya temperatura decrece conforme aumenta la altitud.

- Termósfera

Se trata de cuarta capa de la Atmósfera, formada principalmente por átomos cargados eléctricamente, denominados iones, razón por la cual es también llamada Ionósfera.

En contraste con la Mesósfera, los gases no están mezclados correctamente, pero sí estratificados según sus masas moleculares.

- Exósfera

Es la capa exterior de la Atmósfera, que une el espacio exterior con las capas interiores. En el caso de la Tierra se sitúa a 600 Km de altitud

Es la capa menos densa y la acción de la gravedad es mínima. En ella orbitan satélites artificiales.

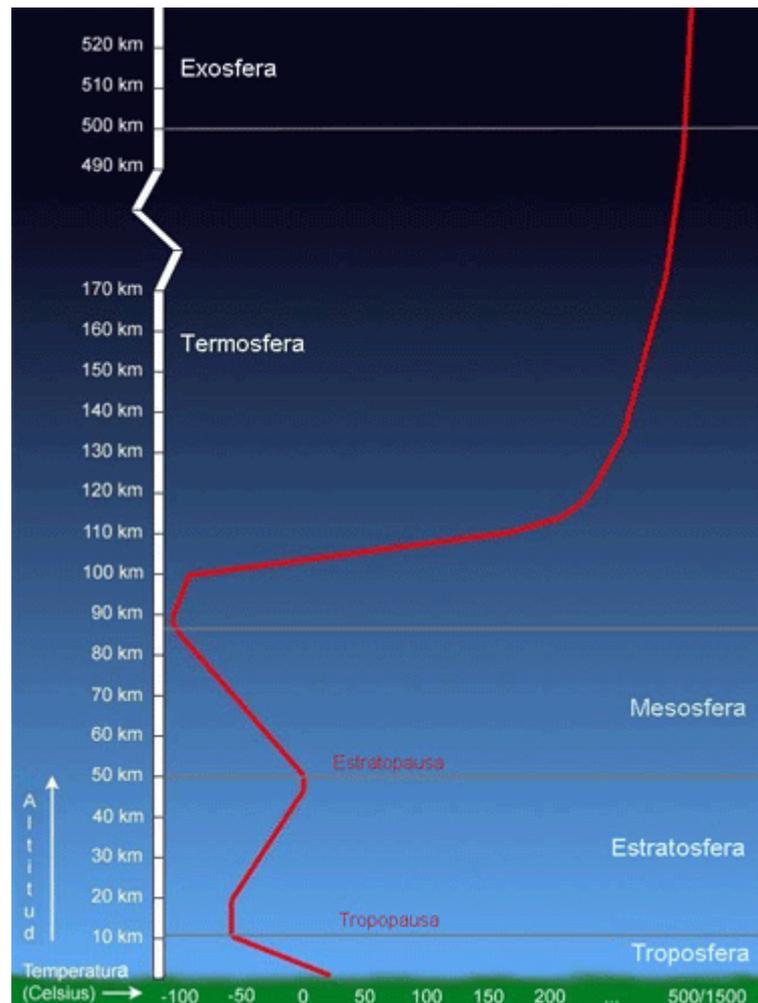


Figura 5. 1. Capas de la Atmósfera.⁵

⁵ Figura extraída de “TROPOSFERA PORTAL TEMATICO DE CONTAMINACION ATMOSFERICA”. Recuperado <http://www.troposfera.org/conceptos/calidad-aire/>.

5.2. LA CONTAMINACIÓN

La contaminación es la presencia en la atmósfera de agentes físicos, químicos y biológicos, resultantes tanto de la actividad humana como de procesos naturales, durante un período determinado y en concentraciones lo suficientemente elevada que afectan el confort, la salud o el bienestar de las personas o el medio ambiente.⁶

5.2.1. CLASIFICACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN

Según el ambiente, existen diferentes tipos de contaminación:

- Contaminación del agua

Es la alteración o modificación del agua por causa de la incorporación de sustancias extrañas, como microorganismos, residuos industriales, productos químicos, derrames de aguas residuales, materiales plásticos, o derrames de petróleo, que acarrear consecuencias negativas en el medio ambiente como en los seres vivos.

Los agentes contaminantes del agua se clasifican según sean físicos, químicos o biológicos.

- Contaminación del suelo

Es la introducción de material extraño y nocivo, generalmente productos químicos liberados por derrames o filtraciones, que afectan negativamente las características de las capas terrestres. Éstos contaminantes provocan un desequilibrio físico, químico y biológico en el suelo, lo cual resulta perjudicial para los seres vivos y el entorno.

- Contaminación del aire

Frecuentemente denominada contaminación ambiental, es la presencia de partículas sólidas, líquidas y gaseosas que resultan perjudiciales para los seres vivos y el medio ambiente.⁷

- Contaminación química

Es la introducción de compuestos químicos, ajenos al medio ambiente, en cualquier zona del mismo; afectando un ecosistema, medio físico o ser vivo.

- Contaminación térmica

Procede, exclusivamente, de la propagación de materiales radiactivos, como es el caso del uranio enriquecido, que se utiliza en las instalaciones médicas y de investigación.

- Contaminación acústica

Exceso de sonido, comúnmente llamado ruido, que altera el desarrollo de las actividades de las personas, y produce efectos negativos sobre la salud auditiva, mental y física de las mismas.

- Contaminación visual

⁶ Diccionario Real Academia Española de Ingeniería. Página web: diccionario.raing.es.

⁷ Álvarez Pelegrí, Eloy; Menéndez Sánchez, Jaime; Bravo López, Manuel. Junio de 2018. Calidad del aire. Situación en España y escenarios a futuro para la CAPV, Madrid y Barcelona. Cuadernos Orkestra 2018/38 ISSN 2340-7638. Orkestra Instituto Vasco de Competitividad. Fundación Deusto. Recuperado de <https://www.orkestra.deusto.es/images/investigacion/publicaciones/cuadernos/calidad-del-aire.pdf>

Es la transformación de un ambiente ocasionada por la existencia de elementos clasificados como “no arquitectónicos”, cuya presencia provoca la alteración de la estética y la imagen del entorno. La contaminación visual puede tener consecuencias perjudiciales para la salud, como el estrés.

5.2.2 LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Se denomina contaminación atmosférica a la introducción en el medio natural de agentes físicos, químicos o biológicos, que alteran las condiciones ambientales, provocando molestias o riesgos para la salud de las personas y demás seres vivos, como así también el entorno que los rodea.⁸

Según la Organización Mundial de la Salud⁹ (OMS), “*la contaminación del aire representa un importante riesgo medioambiental para la salud, bien sea en los países desarrollados o en los países en desarrollo*”.¹⁰

5.2.3. CLASIFICACIÓN DE CONTAMINANTES

5.2.3.1. Según su origen:

- Natural: incendios forestales por rayos, erupciones volcánicas, tormentas eléctricas, procesos biológicos. La misma presenta dos subgrupos:
 - Biogénicas.
 - Geogénicas.
- Antropogénica: son emisiones a la atmósfera provocada por procesos industriales, combustión por automóviles, entre otros. A su vez, se clasifican en :
 - Focos fijos:
 - Industriales: procesos industriales e instalaciones fijas de combustión, centrales térmicas, centrales nucleares.
 - Domésticos: instalación de calefacción.
 - Focos móviles:
 - Automóviles.
 - Aeronaves.
 - Buques.

⁸ Dr. Manuel Romero Placeres, Lic. Francisca Diego Olite y Dra. Mireya Álvarez Toste. Mayo – Agosto, 2006. La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud. Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología. Revista Cubana de Higiene y Epidemiología, Ciudad de la Habana. versión On-line ISSN 1561-3003

⁹ Página web: www.who.int/es

¹⁰ Organización Mundial de la Salud (OMS). (2 de Mayo de 2018). “Calidad del aire y salud”. Recuperado de [www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health).

5.2.3.2. Según su mecanismo de formación¹¹:

- Contaminantes Primarios: proceden directamente de las fuentes de emisión, tal es el caso del monóxido de carbono y el dióxido de nitrógeno.
- Contaminantes Secundarios: originados por la interacción química entre los contaminantes primarios y los componentes normales de la atmósfera, son ejemplos de ellos el ácido sulfúrico, que se forma por la oxidación del dióxido de nitrógeno, el cual se origina al oxidarse el contaminante primario, el monóxido de carbono, y el ozono a partir del oxígeno.

5.2.3.3. Según su naturaleza:

- Química: contaminantes primarios y secundarios, tales como ácidos y álcalis, insecticidas, disolventes¹² orgánicos, petróleo, plástico y sales de diversos metales.
- Física: radiactivo, acústico, mecánico y térmico.
- Biológica: excremento, sangre, productos de fábricas e industrias.

5.2.3.4. Según su estado físico:

- Partículas
 - Partículas sedimentables: tamaño de diámetro > 10 µm.
 - Partículas en suspensión: tamaño de diámetro 0,1 µm – 10 µm. Tales como polvos minerales (carbón, amianto, caliza, cemento), nieblas ácidas (ácido sulfúrico) y humos.
 - Humos de combustión: partículas de naturaleza carbonosa, generadas normalmente en procesos de combustión incompleta de hidrocarburos¹³.
- Gases (a presión y temperatura constante): incluyen compuestos azufrados (dióxido de azufre, trióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, amoníaco), compuestos orgánicos (hidrocarburos, compuestos orgánicos volátiles, hidrocarburos aromáticos policíclicos, aldehídos), compuestos halogenados y haluros, sulfuro de hidrógeno, bisulfuro de carbono, resultantes de la quema de compuestos fósiles y derivados de petróleo.
- Contaminantes asociados a partículas sólidas: restos de materia orgánica y envases.
- Contaminantes que se encuentran asociados a partículas líquidas o que se condensan fácilmente: las llamadas aguas negras con desechos industriales y derrames de combustibles como el petróleo.

5.2.3.5. Según su composición química:

- Orgánicos (hidrocarburos, aldehídos y cetonas)

¹¹ Patricia Matus C. y Rodrigo Lucero Ch. Abril 2002. Norma Primaria de calidad del aire. Revista chilena de enfermedades respiratorias v.18 n.2. Santiago de Chile. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-73482002000200006>.

¹² Disolvente. Líquido simple, o mezcla de líquidos, volátil en las condiciones de secado especificadas y capaces de disolver completamente al ligante. Diccionario Real Academia de Ingeniería. Página web: dicionario.raing.es.

¹³ Hidrocarburo. Compuesto resultante de la combinación del carbono con el hidrógeno. Diccionario Real Academia Española. Página web: dle.rae.es.

- Inorgánicos(óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre y Ozono)

5.2.3.6. Según su grado de toxicidad¹⁴:

- Contaminantes criterio: contaminantes a los que se les han establecido un límite máximo permisible de concentración en el aire, con la finalidad de proteger la salud humana y asegurar el bienestar de la población. Son ejemplos de contaminantes criterio: monóxido de carbono, dióxido de azufre, ozono, partículas en suspensión (PM₁₀ y PM_{2.5}) y el plomo.
- Contaminantes tóxicos: compuestos en forma de gas o partículas que se encuentran en el aire en bajas concentraciones pero con características de toxicidad, que pueden representar peligro para la vida humana, animal y vegetal. Por ejemplo, benceno, tolueno y el xileno, que forman parte de compuestos orgánicos. También compuestos tóxicos gaseosos no orgánicos, como amoníaco y cloro, que son emitidos como parte de las partículas, al igual que los metales pesados como el plomo, cromo y el cadmio.
- Contaminantes biológicos: son emitidos a partir de material vivo o en descomposición, por ejemplo moho, esporas, partes de insectos, restos de piel humana o animal y plagas¹⁵.

5.2.3.7. Según su grado de degradación¹⁶:

- Degradables: se descomponen completamente o se reducen a niveles aceptables mediante procesos naturales físicos, químicos y biológicos.
- Biodegradables: contaminantes químicos complejos que por la acción de organismos vivos, se descomponen en compuestos químicos más sencillos.
- Degradación lenta: necesitan décadas o más tiempo para degradarse.
- No degradables: estos contaminantes no se descomponen por procesos naturales.

5.2.3.8. Según su distribución espacial:

- Puntual.
- Lineal.
- Área.

5.2.4. CONTAMINANTES RELACIONADOS CON LOS CULTIVOS DE VID

5.2.4.1. GASES ORGÁNICOS VOLÁTILES

Los compuestos orgánicos son sustancias químicas que contienen carbono. Los compuestos orgánicos volátiles se evaporan rápidamente a la atmosfera, dando lugar a la contaminación atmosférica como a significativos riesgos para la salud, o se convierten

¹⁴ Ferran Ballester, Unidad de Epidemiología y Estadística. Escuela Valenciana de Estudios para la Salud. Marzo – Abril 2005. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA, CAMBIO CLIMÁTICO Y SALUD. Revista Española de Salud Pública 2005; 79: 159-175. *versión On-line* ISSN 2173-9110*versión impresa* ISSN 1135-5727.

¹⁵ Plaga. Aparición masiva y repentina de seres vivos de la misma especie que causan graves daños a poblaciones animales o vegetales. Diccionario Real Academia Española. Pagina web: dle.rae.es

¹⁶ Degradación. Transformar una sustancia compleja en otra de estructura más sencilla. Diccionario Real Academia Española. Pagina web: dle.rae.es.

fácilmente en vapores a temperatura ambiente normal. Junto con el carbono, contienen elementos como azufre, bromo, cloro, flúor, hidrógeno, o nitrógeno.

Los compuestos orgánicos volátiles son moléculas liposolubles¹⁷, con afinidad por las grasas y los aceites, y que se acumulan en los tejidos grasos del hombre.

Se caracterizan por ser compuestos inflamables, es decir que arden con facilidad en contacto con el aire.

Las propiedades tóxicas de los compuestos orgánicos volátiles dependen del componente y sus condiciones y tiempo de exposición; las reacciones alérgicas o mareos son frecuentes a corto plazo, y en exposiciones prolongadas se relacionan con lesiones neurológicas y efectos psiquiátricos como falta de memoria, dificultad de concentración e irritabilidad, trastornos visuales, fatiga y pérdida de coordinación; disminución de la función pulmonar y lesiones al hígado, riñones y sistema nervioso central.

Los efectos sobre el medio ambiente incluyen la alteración de la función fotosintética¹⁸ de las plantas.

Por tratarse de compuestos con una química atmosférica muy activa, generan una forma de contaminación atmosférica conocido como smog¹⁹, al unirse con el óxido de nitrógeno y la luz solar.

Los contaminantes orgánicos volátiles que abundan en el aire son metano, tolueno, n-butano, i-pentano, etano, benceno, n-pentano, propano y etileno. Su origen puede ser de tipo natural, denominados compuestos orgánicos volátiles biogénicos, como antropogénico, como resultado de la evaporación de disolventes orgánicos; la quema de combustibles como gasolina, madera, carbón o gas natural; transporte, entre otros.

Los compuestos orgánicos volátiles presentan propiedades características responsables de sus efectos sobre la salud y el medio ambiente.

En relación a los niveles de peligrosidad, los compuestos orgánicos volátiles se clasifican en 3 grupos:

- Compuestos extremadamente peligrosos para la salud: benceno, cloruro de vinilo y 1,2 dicloroetano.
- Compuestos clase A: pueden ocasionar daños significativos al medio ambiente, tal es el caso del acetaldehído, anilina, tricloroetileno, etc.
- Compuestos clase B: presentan un menor impacto en el medio ambiente, por ejemplo acetona y etanol.

Algunos compuestos orgánicos volátiles son muy tóxicos, como el benceno, el óxido de estireno, el percloroetileno o el tricloroetileno, que son cancerígenos, o el formaldehído y el estireno, que además son disruptores endócrinos²⁰.

¹⁷ Liposoluble. Que es soluble en lípidos. Marcela Rizzotto.2007. Diccionario de Química General e Inorgánica Primera Edición. Rosario, Argentina. Corpus Editorial y Distribuidora.

¹⁸ Fotosíntesis. La conversión de la energía luminosa en energía química que tiene lugar en los cloroplastos de las células eucariotas (algas y plantas) o en los tilacoides y en el protoplasma de las células procariotas. Implica tanto la recepción de la energía lumínica, su conversión en energía química así como la fijación del dióxido de carbono en compuestos orgánicos. Helena Curtis y N. Sue Barnes. 2006. Biología Sexta Edición en Español. Madrid, España. Editorial Médica Panamericana.

¹⁹ Smog. Niebla mezclada con humo y partículas en suspensión, propia de las ciudades industriales. Diccionario Real Academia Española. Página web: dle.rae.es.

²⁰ Disruptores endócrinos. Químicos que pueden alterar el equilibrio del cuerpo humano al evitar que el sistema endócrino funcione adecuadamente. Los disruptores endócrinos se encuentran en una gran variedad

COMPUESTOS INORGÁNICOS

Los compuestos químicos inorgánicos están formados por diferentes elementos, su componente principal no siempre es el carbono, siendo el agua el más abundante.

Los compuestos inorgánicos se forman por la acción de diversos fenómenos físicos y químicos, tales como electrólisis²¹, fusión²², entre otros. Asimismo es posible considerar agentes de la creación de los compuestos inorgánicos a la energía solar, el agua y el oxígeno.

Según los elementos que los constituyen, los compuestos inorgánicos se clasifican en los siguientes grupos:

- Óxidos básicos o metálicos y óxidos ácidos o no metálicos: son aquellos compuestos formados por oxígeno y un metal o un no metal. Presentan diversas aplicaciones, tales como: baterías, colorantes y pinturas, construcción, industria del vidrio y medicina.

Según su número de oxidación, los óxidos básicos y ácidos, se clasifican en:

- Óxidos normales: se clasifican según su naturaleza química en: Básicos, Ácidos, Anfóteros y Neutros.
- Superóxidos.
- Peróxidos.
- Hidruros: son compuestos binarios del hidrogeno con diferentes elementos que forman la tabla periódica. Se clasifican en:
 - Elementos con los que se forman hidruros salinos.
 - Elementos con los que se forman hidruros covalentes.
 - Elementos con los que se forman hidruros metálicos.

Los hidruros se utilizan en: fabricación de productos de limpieza, materiales semiconductores, fertilizantes y grabado y esmerilado de vidrios.

- Ácidos: compuesto químico que, al disolverse en agua, produce una solución con una actividad de catión hidronio mayor que el agua pura, esto es, un pH menor que 7. Los ácidos se utilizan en: producción de herbicidas, curado de cueros y explosivos.

Los ácidos pueden ser:

- Hidrácidos: compuestos binarios del hidrógeno con un no metal.
- Oxácidos: compuestos ternarios formados por hidrogeno, oxígeno y un no metal. Se forman al reaccionar un óxido ácido con el agua.

de productos que el ser humano utiliza diariamente, tales como telas y jabones, cosméticos, pesticidas en alimentos, entre otros. Grupo de Enlace Comunitario y Educación (COEC, por sus siglas en inglés). Junio del 2012. Hoja Informativa sobre Salud Ambiental ¿Qué son los disruptores endócrinos?. Recuperada de <http://ehscc.umich.edu/wp-content/uploads/EndocrineDisruptorsSPN.pdf>.

²¹ Electrólisis. Descomposición en iones de una sustancia en disolución mediante la corriente eléctrica. Diccionario Real Academia Española. Página web: dle.rae.es.

²² Fusión. Física. Reacción nuclear producida por la unión de dos núcleos atómicos ligeros que da lugar a un núcleo más pesado, con liberación de energía. Diccionario Real Academia Española. Página web: dle.rae.es.

- Bases: es cualquier sustancia que en disolución acuosa aporta iones hidroxilos al medio. Las soluciones básicas tienen un pH mayor a 7. Se utilizan principalmente en la producción de desinfectantes y potabilizantes, detergentes y antiácidos.
- Sales: es un compuesto iónico formado por un catión distinto del catión hidrógeno y un anión diferente del anión hidroxilo. Se forman en la reacción de neutralización entre un ácido y base.

Las sales pueden clasificarse en haloideas y binarias, cuando se forman a partir de un hidrácido, u oxisales cuando se forman a partir de un oxácido. Entre sus principales usos, se incluyen: industria del cemento, conservantes de alimentos y estabilización de carreteras.

Cabe destacar que, existen compuestos inorgánicos que contienen carbono, sin embargo, se consideran inorgánicos, porque no contienen enlaces carbono – carbono y sus propiedades son semejantes a este tipo de compuestos, entre los cuales está el monóxido de carbono y el dióxido de carbono.

Gases disueltos en el agua, tales como el oxígeno, dióxido de carbono, nitrógeno, radón, metano, sulfuro de hidrógeno, no resultan perjudiciales para la salud, exceptuando el sulfuro de hidrógeno y gases radiactivos como el radón. Por su parte, el metano como el sulfuro de hidrógeno pueden ser inflamables.

5.2.4.2. GASES ORGÁNICOS E INORGÁNICOS VOLÁTILES: HERBICIDAS

Los herbicidas son sustancias químicas utilizadas para inhibir o interrumpir el crecimiento de ciertas plantas indeseadas, consideradas malezas, que a su vez, pueden tratarse de cualquier vegetal no deseado. Son usados, exclusivamente, en la agricultura en la industria y en zonas urbanas. Algunos actúan interfiriendo en el crecimiento de las malas hierbas y se basan frecuentemente en las hormonas de las plantas.

Los herbicidas se clasifican:

- Según la acción sobre las plantas: Selectivos y No selectivos.
- Según el momento de aplicación: De preemergencia y De postemergencia.
- Según su movilidad dentro de la planta: Sistémicos y De contacto
- Según su persistencia: Residuales y No residuales.
- Según el proceso fisiológico: Hormonales y No hormonales.

Dentro de las principales familias de herbicidas se destacan las de acción foliar²³ y translocación²⁴; de contacto; con actividad en el suelo; con actividad foliar y a través del suelo.

- Herbicidas de acción Foliar y Translocables: son los que actúan a través de la parte aérea de la planta y se translocan por los haces vasculares²⁵. Se clasifican en dos grandes grupos: hormonales y translocables no hormonales.

²³ Foliar. Perteneciente o relativo a la hoja. Diccionario Real Academia Española. Página web: dle.rae.es.

²⁴ Translocación. Proceso interno por el que los nutrientes o herbicidas son llevados de una parte de la planta a otra. Glosario INFOJARDÍN. Página web: <http://www.infojardin.net/glosario/tobera/translocar.htm>.

²⁵ Haces vasculares. Conjunto de elementos conductores, xilema y floema. Glosario Botánica. Página web: <https://glosarios.servidor-alicante.com/botanica/haces-vasculares>

- Herbicidas hormonales: se denominan herbicidas reguladores del crecimiento, y se destacan:
 - Herbicidas fenoxi o fenoxiacéticos, tales como con el 2.4-D o el MCPA, actúan de forma sistémica en las plantas, y alteran el desarrollo y crecimiento de las plantas.
 - Herbicidas benzoicos: son derivados clorados²⁶ del ácido benzoico y actúan de forma similar a los fenoxi, se destacan el dicamba y el clorambem.
 - Herbicidas picolínicos y otros: derivan del ácido picolínico e interfieren en la regulación del crecimiento, tales como fluroxipir y el benazolín.
- Herbicidas translocables no hormonales: son productos que actúan a través de la parte aérea de la planta y se translocan por ella pero, a diferencia de los anteriores, no funcionan como fitohormonas²⁷. Se suelen dividir en: De acción total o Selectivos con acción antigramínea.
 - De acción total: se trata de herbicidas no demasiado selectivos. Los derivados arsenicales contienen Arsénico (As) en sus moléculas. Entre los derivados arsenicales más corrientes se destacan los derivados del ácido metanoarsénico. Su mecanismo de acción se basa en la interferencia de la fosforilación oxidativa, o inactivación de enzimas. Si bien se trata de productos económicos, su peligrosidad ha hecho que no se comercialicen en muchos países. El glifosato es un herbicida bastante utilizado, y controla un gran número de especies de malas hierbas, en especial perennes²⁸. Provoca interrupción del crecimiento, clorosis²⁹ y necrosis³⁰. Sin embargo, no muestra actividad en el suelo a dosis comerciales.
 - Antigramíneos: cómo su nombre lo indica, controlan especialmente malas hierbas gramíneas³¹.
- Herbicidas de contacto: se trata de herbicidas de acción foliar pero, a diferencia de los anteriores, no se translocan. Pueden ser no selectivos (atacan cualquier especie vegetal) y selectivos.
 - Herbicidas de contacto no selectivos:
 - Bipiridilos: se destacan el diquat y el paraquat. Se caracterizan por ser solubles³² en agua y no presentan actividad en el suelo; penetran

²⁶ Clorado. Que contiene cloro. Diccionario Real Academia Española. Página web: dle.rae.es.

²⁷ Fitohormona. Hormona. Diccionario de la Real Academia de Ingeniería. Página web: diccionario.raing.es.

²⁸ Perenne. Que vive más de dos años. Diccionario Real Academia Española. Pagina web: dle.rae.es.

²⁹ Clorosis. Amarilleo de las partes verdes de una planta debido a la falta de actividad de sus cloroplastos. Diccionario Real Academia Española. Pagina web: dle.rae.es.

³⁰ Necrosis. Muerte de un tejido mientras forma parte de un organismo vivo, en las plantas frecuentemente como síntoma de una infección fúngica. Diccionario de la Real Academia de Ingeniería. Pagina web: diccionario.raing.es.

³¹ Gramíneo. Dicho de una planta: del grupo de las angiospermas monocotiledóneas, con tallo cilíndrico, comúnmente hueco, interrumpido de trecho en trecho por nudos llenos, hojas alternas que nacen de estos nudos y abrazan el tallo, flores muy sencillas, dispuestas en espigas o en panojas, y grano seco cubierto por las escamas de la flor. Diccionario Real Academia Española. Pagina web: dle.rae.es

rápida­mente por las hojas, sobre todo si se les añade un surfactante³³, y matan a las plantas en 1-2 días. Se utilizan, en general, para controlar malas hierbas, desecar ciertas plantas cultivadas y facilitar su recolección en climas húmedos.

Fosamina: normalmente actúa en la zona de la aplicación, provocando clorosis, necrosis y abscisión³⁴ foliar. No presenta actividad en el suelo.

- Aceites de petróleo: su aplicación en las plantas provoca la pérdida de permeabilidad³⁵ selectiva de las membranas³⁶ de la epidermis³⁷ de las plantas, causando la desorganización, y la planta se deseca.
 - Ácido cacodílico: es un compuesto orgánico arsénico, sin embargo su acción es diferente de los herbicidas translocables no hormonales, ya que no se transloca. Se utiliza como defoliante³⁸ y desecante³⁹.
 - Glufosinato: se trata de un herbicida, recientemente desarrollado, que puede translocarse ligeramente dentro de la hoja, no fuera de ella, provocando la acumulación de amoníaco en las plantas alcanzando niveles tóxicos.
- Herbicidas de contacto selectivos: se trata de herbicidas translocables que actúan selectivamente sobre determinadas especies. Se destacan el bentazón, el bromixinil y el ioxinil contra malas hierbas de hoja ancha en diversos cultivos.
 - Herbicidas con actividad en el suelo: son productos fitosanitarios⁴⁰ cuya actividad se da exclusivamente a través del suelo.
 - Dinitroanilinas: se trata de un herbicida selectivo, aunque de amplio espectro y bien tolerado por cultivos como el girasol, el algodón o la soja. Se absorbe por las raíces, sin embargo apenas se trasloca en la planta, inhibiendo la división celular⁴¹, y atrofiando las raíces.
 - Tiocarbamatos: son herbicidas con un periodo de actividad corto (6-8 semanas). Controlan, principalmente, gramíneas anuales y dicotiledóneas⁴². También pueden afectar malas hierbas perennes, como la grama o las juncias.

³³ Surfactante. Sustancia que se añade a un producto en solución para mejorar su penetración en la superficie de un órgano vegetal. Diccionario Real Academia Española. Pagina web: dle.rae.es.

³⁴ Abscisión. Interrupción. Diccionario Real Academia Española. Pagina web: dle.rae.es.

³⁵ Permeable. Que puede ser penetrado o traspasado por el agua u otro fluido. Diccionario Real Academia Española. Pagina web: dle.rae.es.

³⁶ Membrana. Tejido o agregado de tejidos que en conjunto presenta forma laminar y es de consistencia blanda. Diccionario Real Academia Española. Pagina web: dle.rae.es.

³⁷ Epidermis. Membrana formada por una sola capa de células que cubre el tallo y las hojas de las pteridofitas y de las fanerógamas herbáceas. Diccionario Real Academia Española. Pagina web: dle.rae.es.

³⁸ Defoliante. Que provoca la caída artificial de las hojas de las plantas. Diccionario Real Academia Española. Pagina web: dle.rae.es.

³⁹ Desecar. Hacer que algo pierda humedad. Diccionario Real Academia Española. Pagina web: dle.rae.es.

⁴⁰ Fitosanitario. Perteneciente o relativo a la prevención y curación de las enfermedades de las plantas. Diccionario Real Academia Española. Pagina web: dle.rae.es.

⁴¹ División celular. Proceso de reproducción de las células mediante el que se originan dos o más células hijas. Diccionario Real Academia Española. Pagina web: dle.rae.es.

⁴² Dicotiledóneo. Dicho de un vegetal: que tiene un embrión con dos cotiledones (primera hoja del embrión de las plantas que tienen el conjunto de los órganos de reproducción visible en forma de flor, en la que se efectúa la fecundación. Diccionario Real Academia Española. Pagina web: dle.rae.es

- Amidas sustituidas: también denominadas anilidas, y constituye un importante grupo de herbicidas en constante desarrollo. Afectan a semillas en germinación⁴³ y plántulas⁴⁴. Asimismo, la volatilidad⁴⁵, solubilidad⁴⁶ en agua y persistencia en el suelo varía mucho en las distintas amidas. El propanil inhibe la fotosíntesis en las malas hierbas, provocando manchas cloróticas y necrosis.
- Otros herbicidas de suelo: el oxidiazón se aplica en preemergencia, penetra por las raíces y afecta a las plántulas cuando tratan de emerger del suelo. Se trasloca poco y es necesaria la luz para activarlo.
- Herbicidas con actividad foliar y a través del suelo: estos productos pueden absorberse tanto por la parte aérea de la planta (hojas y tallos) como en los órganos subterráneos.
- Inhibidores de la fotosíntesis: se caracterizan por la interrupción del proceso de fotosíntesis, su síntoma más típico es una clorosis foliar que luego pasa a necrosis. La persistencia en el suelo varía según los productos. Se destacan los siguientes:
 - Triazinas: se emplean en el control de las malas hierbas, salvo alguna excepción. Son principalmente absorbidas por la raíz, aunque las que son demasiado solubles en agua pueden entrar por las hojas. Inhiben la síntesis de pigmentos fotosintéticos, y los síntomas aparecen, en principio, en las hojas jóvenes, y finalmente las hojas se secan. Se destacan la simazina, como así también la atrazina, prometina, entre otros.
 - Ureas sustituidas: derivados de la urea, se trata de un conocido fertilizante, que se aplica, normalmente, al suelo, aunque también presentan actividad foliar, con la ayuda de surfactantes. Además de inhibir la fotosíntesis, pueden desorganizar membranas celulares⁴⁷. Las más conocidas son el diurón y el linurón.
 - Uracilos: sus propiedades son similares a las de las ureas sustituidas, aunque son más persistentes y menos selectivas. Se destacan el bromacilo, el terbacilo, entre otros.
 - Pirazón: se utiliza sobre todo para controlar malas hierbas dicotiledóneas como gramíneas.
- Desorganizadores de membranas celulares
 - Difeniletéres: se trata de herbicidas que se absorben por raíces, tallos y hojas, aunque su translocación es limitada. Necesitan luz para activarse, y son de

⁴³ Germinar. Dicho de un vegetal: comenzar a desarrollarse desde la semilla. Diccionario Real Academia Española. Pagina web: dle.rae.es.

⁴⁴ Plántula. Planta joven, al poco tiempo de brotar de la semilla. Diccionario Real Academia Española. Pagina web: dle.rae.es.

⁴⁵ Volatilidad. Cualidad de poseer un bajo punto de ebullición o una baja temperatura de sublimación, a presión ordinaria o, equivalente, de tener una alta presión de vapor a las temperaturas ordinarias. Diccionario de la Real Academia de Ingeniería. Pagina web: diccionario.raing.es.

⁴⁶ Solubilidad. Cualidad por la que las partículas de una sustancia se desunen, o disuelven en el agua, que permite así formar mezclas homogéneas a escala molecular con otras sustancias. Diccionario de la Real Academia de Ingeniería. Pagina web: diccionario.raing.es.

⁴⁷ Membrana celular. La membrana externa de la célula, también llamada membrana plasmática, membrana que rodea al citoplasma de la célula. Helena Curtis y N. Sue Barnes. 2006. Biología Sexta Edición en Español. Madrid, España. Editorial Médica Panamericana.

rápida acción (1-2 días). Controlan, sobre todo las malas hierbas dicotiledóneas, aunque también pueden dañar a ciertas gramíneas.

- Dinitrofenoles: se trata de herbicidas que han caído en desuso, e incluso prohibidos debido a su toxicidad.
- Herbicidas inorgánicos: son herbicidas conocidos comúnmente como bórax o boratos, son bastante tóxicos, y se emplean como herbicidas no selectivos de control total, su persistencia en el suelo puede superar 2 años.
- Inhibidores meristemáticos: son herbicidas que se traslocan por la planta, inhibiendo el crecimiento en ápices⁴⁸ y yemas⁴⁹, y en algunos extremos de las raíces, provocando deformaciones.
 - Carbamatos: algunos actúan a nivel foliar, mientras que otros lo hacen por el suelo. Además de inhibir la división celular, pueden afectar la fotosíntesis. Se utilizan principalmente en gramíneas, y se destacan el desmedifán, fenmedifán y asulán.
 - Sulfonilureas: se caracterizan por presentar una rápida absorción por raíces y hojas, y se traslocan con facilidad. A pocos días de su aplicación se observa un color rojizo en las partes jóvenes del vegetal, seguido de clorosis y necrosis, que va progresando a las más viejas. Se destacan el clorsulfurón, metsulfurón-metil, entre otros.
 - Imidazolinonas: son herbicidas de desarrollo muy frecuente, derivados del imidazolín. Afectan a gramíneas y dicotiledóneas, aunque la susceptibilidad varía notablemente en las diferentes especies.

5.2.4.2.1. APLICACIÓN DE HERBICIDAS: CULTIVOS DE VID

Los insectos y las enfermedades causadas por hongos y bacterias no son los únicos motivos que pueden afectar negativamente el desarrollo de la vid, también sufre la acción de malas hierbas, que entran en competencia con la plantación en busca de agua, nutrientes y luz, pueden llegar a ser vía de entrada de afecciones fúngicas⁵⁰ y suelen dificultar el trabajo en el terreno.

A corto plazo, esta competencia genera una pérdida de rendimiento del viñedo, una pérdida de calidad del fruto y una disminución de la capacidad de crecimiento y desarrollo de las plantas.

A mediano y largo plazo, pueden ocasionar importantes pérdidas en la fertilidad y la producción de la planta, así como un acelerado envejecimiento de las cepas⁵¹. Luego, estas especies dañadas son potencialmente transmisoras de virus, y resultan un foco importante para el alojamiento de plagas.

⁴⁸ Ápice. Porción terminal del vástago o de la raíz, en la que se ubica el meristema apical. Diccionario de la Real Academia de Ingeniería. Página web: diccionario.raing.es.

⁴⁹ Yema. Rudimento de brote, vegetativo o florífero, que se forma habitualmente en la axila de una hoja y suele estar protegido por una serie de catafilos u hojillas escamiformes. Diccionario de la Real Academia de Ingeniería. Página web: diccionario.raing.es.

⁵⁰ Fúngica. Perteneciente o relativo a los hongos. Diccionario Real Academia Española. Pagina web: dle.rae.es

⁵¹ Cepa. Parte del tronco de cualquier árbol o planta, que está dentro de la tierra y unida a las raíces. Diccionario Real Academia Española. Pagina web: dle.rae.es

De los métodos utilizados para el control de malezas, el control químico mediante el uso de herbicidas es una de las prácticas más habituales, que puede utilizarse desde la preparación del lote a plantar, como así también durante el cultivo.

Este control químico se caracteriza por:

- Permitir control de malezas donde normalmente no es posible realizarlo por otros métodos: línea de plantación.
- Reducen el número de operaciones de cultivo de la tierra o del campo.
- Reduce la compactación del suelo.
- Mayor flexibilidad en el manejo del cultivo.

Sin embargo, presenta desventajas tales como:

- Daños a plantas no blanco y/o daño al propio cultivo.
- Residuos en el suelo.
- Contaminación ambiental.

5.2.4.2.1.1. ALGUNOS HERBICIDAS PARA CONTROL DE MALEZAS EN VID UTILIZADOS EN EL PAÍS

- **GLIFOSATO**

Glifosato es un herbicida soluble en agua, de amplio espectro⁵² y no selectivo que es absorbido por las hojas y transportado a todas las partes de la planta, incluyendo raíces. Por lo tanto, es capaz de matar completamente incluso a plantas de raíces profundas, a diferencia de otros productos, como el paraquat, que afectan solamente la parte foliar de la planta por encima del suelo; propiedad que ha hecho del glifosato un herbicida muy popular.

El glifosato es el ingrediente activo de un gran número de herbicidas comercializados en todo el mundo, incluyendo la conocida formulación Roundup. Los herbicidas a base de glifosato son ampliamente utilizados para el control de malezas ya que no son selectivos; el glifosato elimina toda la vegetación.

Las personas, plantas y los animales pueden ser expuestos al glifosato y al Roundup de diversas formas. Agricultores, habitantes, operadores, y los hábitats naturales pueden estar expuestos durante su aplicación por desvíos desde el área donde está siendo rociado. La aplicación aérea es utilizada en algunos cultivos, aumentando considerablemente las posibilidades de exposición accidental de poblaciones o hábitats cercanos. (*Figura 5.2.*)

En relación con el medio ambiente, el glifosato puede ser retenido en el suelo uniéndose a partículas pero, según la química de la tierra, del mismo modo puede filtrarse hasta las aguas subterráneas. También, puede ser lavado directamente hacia desagües y aguas superficiales, donde se ha detectado la presencia del mismo. Está presente en los suelos, aguas y alimentos como resultado de su uso como herbicida.

⁵² Espectro. Conjunto de las especies microbianas contra las que es activo un antibiótico. Diccionario Real Academia Española. Página web: dle.rae.es.

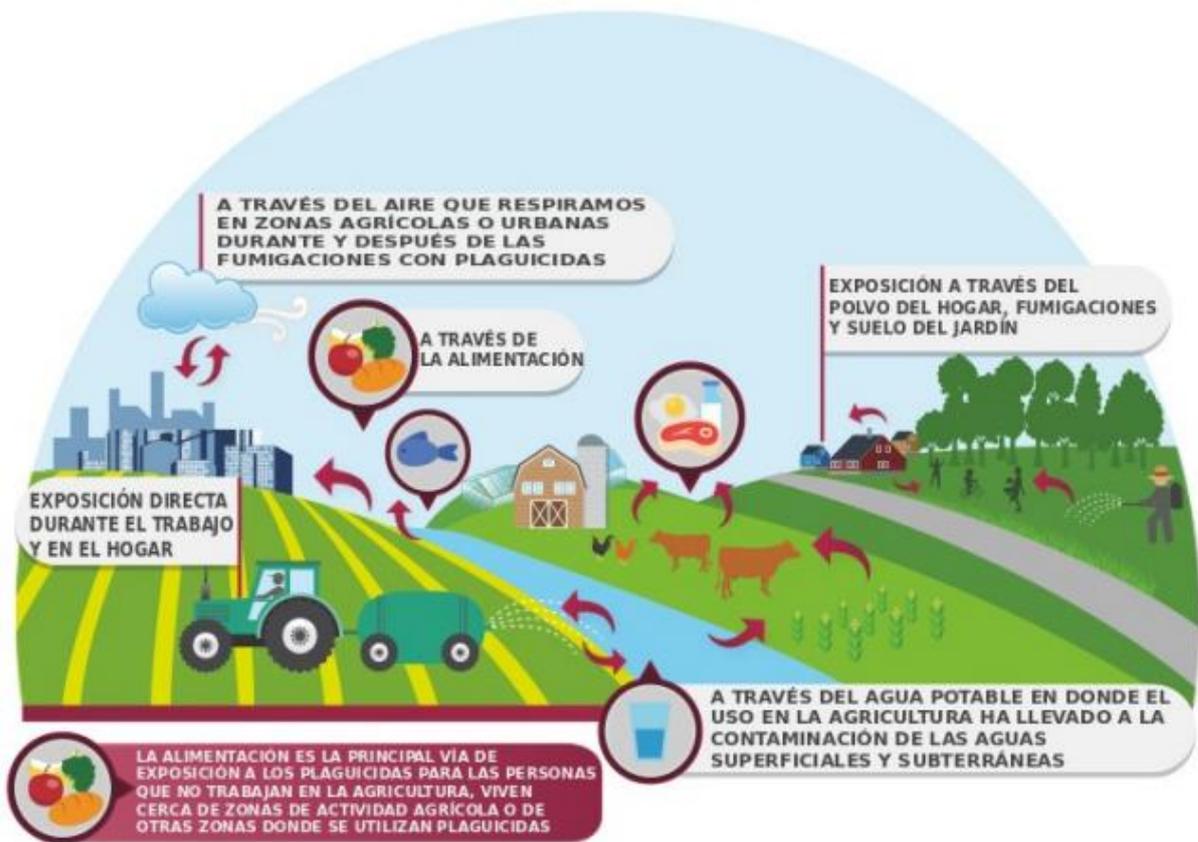


Figura 5. 2. Efectos del glifosato en el medio ambiente y la salud humana⁵³.

El glifosato puede impactar sobre la biodiversidad de maneras diferentes y puede tener efectos negativos a corto y largo plazo, así como también efectos directos e indirectos.

Al igual que cualquier agroquímico⁵⁴, tiene un costo ambiental muy alto: daña la tierra y puede filtrarse hasta aguas subterráneas afectando la calidad del agua potable y la vida acuática.

El glifosato (N- (fosfonometil) glicina) comercializado en la actualidad presenta las siguientes propiedades:

- Ácido orgánico débil, derivado del ácido fosfónico y del aminoácido glicina.
- Formulado como sal: soluble en agua.
- Muy estable en condiciones normales de temperatura.
- Soporta la exposición a la luz sin sufrir efectos adversos (fotoestable) y no volátil.
- Generalmente, no persiste en el suelo.

⁵³ Los plaguicidas y nuestra salud, una preocupación creciente. Página web GREENPEACE. 12 de Mayo, 2015. Recuperado de http://archivo-es.greenpeace.org/espana/Global/espana/2015/Report/agricultura/Plaguicidas_Y%20_Nuestra_Salud_ResumenCastellano.pdf.

⁵⁴ Agroquímico. Aplicado a un producto. Elaborado por procedimientos químicos y destinado a las necesidades de la producción agrícola. Diccionario Real Academia Española. Página web: dle.rae.es.

- Fuerte adsorción⁵⁵ en el suelo.
- Esencialmente, no selectivo, razón por la cual, no debe contactar ninguna parte verde de la cepa.
- Aplicación postemergencia.

El glifosato es un herbicida de uso libre, su aplicación no se encuentra prohibida en la provincia de Córdoba, salvo las restricciones respecto de las distancias entre las zonas de aplicación y las áreas pobladas.

- 2,4 – D ÁCIDO DICLOROFENOXIACÉTICO

El 2,4-D o ácido 2,4-diclorofenoxiacético es un herbicida sistémico hormonal auxínico⁵⁶ ampliamente utilizado a nivel mundial. Se trata de un herbicida efectivo, de acción sistémica y baja volatilidad. Destinado al control eficaz de malezas de hoja ancha en determinados cultivos de cereales, sin dañar las hierbas, en especial en pastos y césped. Se recomienda su empleo en zonas críticas, donde la volatilidad de los selectivos corrientes (ésteres⁵⁷ del ácido 2,4-D) pueda alcanzar a cultivos hortícolas, forestales y florales cultivados en la proximidad.

Asimismo, el 2,4-D está clasificado en la categoría toxicológica II. Las formulaciones de sal amina pueden causar daño irreversible en ojos, en cambio las formulaciones de éster son consideradas no irritantes oculares. Por otro lado, la exposición ocupacional a 2,4-D ha producido serias irritaciones de ojos y de piel.

Los herbicidas ácido fenoxi han estado ligados a sarcomas⁵⁸ de tejido blando, y la Agencia Internacional de Investigación sobre el cáncer⁵⁹ (IARC) ha clasificado el 2,4-D como un carcinógeno⁶⁰ clase 2B, posible carcinógeno a humanos, concluyendo que hubo evidencias limitadas en humanos y evidencias inadecuadas en animales.

La mayoría de los problemas de lesiones ocurren en la vegetación sensible inmediatamente adyacente a los sitios de aplicación. El riesgo de lesiones disminuye considerablemente a medida que aumenta la distancia entre los sitios de aplicación y la vegetación sensible.

El 2,4-D se utiliza en actividades relacionadas con el control de malezas⁶¹ en prados y céspedes, control de árboles de hojas anchas en plantaciones de coníferas⁶², cereales de grano, maíz y sorgo (en algunas ocasiones). Asimismo, está disponible en dos formas, un

⁵⁵ Adsorber. Dicho de un cuerpo: atraer y retener en su superficie moléculas o iones de otro cuerpo. Diccionario Real Academia Española. Página web: dle.rae.es/.

⁵⁶ Auxina. Grupos de hormonas vegetales que producen diversos efectos reguladores del crecimiento. Helena Curtis y N. Sue Barnes. 2006. Biología Sexta Edición en Español. Madrid, España. Editorial Médica Panamericana.

⁵⁷ Éster. Compuesto orgánico que resulta de sustituir un átomo de hidrógeno de una ácido por un radical alcohólico. Diccionario Real Academia Española. Página web: dle.rae.es.

⁵⁸ Sarcoma. Tumor maligno derivado de estructuras mesenquimales. Diccionario Real Academia Española. Página web: dle.rae.es.

⁵⁹ Página web: <https://www.iarc.fr/>

⁶⁰ Carcinógeno. Dicho de una sustancia o de un agente que produce cáncer. Diccionario Real Academia Española. Página web: dle.rae.es.

⁶¹ Maleza. Hierba mala. Diccionario Real Academia Española. Página web: dle.rae.es.

⁶² Conífera. Especie vegetal gimnosperma del orden Coniferales, que incluye numerosas especies de interés forestal, en su mayoría de hoja perenne en forma de escama, con órganos reproductivos en forma de conos. Diccionario de la Real Academia de Ingeniería. Página web: diccionario.raing.es.

éster y una forma amina, que son similares y tienen el mismo modo de acción. Sin embargo, la forma éster es volátil, lo que significa que se evapora fácil y rápidamente con el viento, lejos de los sitios donde se pulveriza. Aunque la mayoría de las formulaciones de ésteres que se utilizan en la actualidad se conocen como poco volátiles y presentan un riesgo menor que los productos utilizados en el pasado, no obstante existe un nivel de peligro que se debe considerarse.

Cabe destacar que el Ministerio de Agricultura y Ganadería de la provincia de Córdoba, Argentina, a través de la Resolución N° 112, decretó que no será posible el uso del herbicida ácido 2,4-D (diclorofenoxiacético), butílico e isobutílico, en formulaciones ésteres, a partir del 1 de agosto hasta el 31 de marzo de cada año, con el objetivo de promover una producción sostenible en la campaña de cultivos más sensibles, como la vid, los frutales y las producciones hortícolas.

Asimismo, de acuerdo con resoluciones anteriores a la presente, existen zonas específicas de la provincia de Córdoba, donde la utilización del 2,4 -D se encuentra totalmente prohibida durante todo el año, entre las cuales se encuentra la zona del Valle de Calamuchita.

5.2.4.3. LOS PLAGUICIDAS

El artículo 2° del Código Internacional de Conducta para la Distribución y Utilización de Plaguicidas (FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, noviembre 2002)⁶³ define un plaguicida como:

Cualquier sustancia o mezcla de sustancias destinadas a prevenir, destruir o controlar cualquier plaga, incluyendo los vectores⁶⁴ de enfermedades humana o en los animales, las especies no deseadas de plantas o animales que causan perjuicio o que interfieren de cualquier otra forma en la producción, elaboración, almacenamiento, transporte o comercialización de alimentos, productos agrícolas, madera y productos de madera o alimentos para los animales, también aquellos que pueden administrarse a los animales para combatir insectos arácnidos u otras plagas en o sobre sus cuerpos. (p.7).

Los plaguicidas se pueden clasificar⁶⁵ de tres formas:

- Según la composición química:
 - Compuestos Organoclorados: constituidos por hidrocarburos clorados, de baja solubilidad en el agua y elevada estabilidad y liposolubilidad. A causa de su estabilidad fisicoquímica⁶⁶ y su baja presión de vapor, estos compuestos se

⁶³ Ramírez, J.A. y Lacasaña, M. Marzo de 2001. Plaguicidas: clasificación, uso, toxicología y medición de la exposición. Recuperado de https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/36420187/216.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWO WYYGZ2Y53UL3A&Expires=1537291934&Signature=7nPFBPdU7ajWaTp5LP14XhK574g%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DPlaguicidas_clasificacion_uso_toxicologi.pdf.

⁶⁴ Vector. Ser vivo que puede transmitir o propagar una enfermedad. Diccionario Real Academia Española. Página web: dle.rae.es.

⁶⁵ Bienvenida Gilberta López. 17 de diciembre de 2010. Tesis Doctoral NUEVAS METODOLOGÍAS BASADAS EN ESPECTROMETRÍAS DE MASAS PARA EL ANÁLISIS MULTI-RESIDUO DE PLAGUICIDAS Y OTROS CONTAMINANTES EN VEGETALES CON ALTO CONTENIDO GRASO Y EN PRODUCTOS ALIMENTICIOS DE ORIGEN VEGETAL. Recuperada de ruja.ujaen.es/bitstream/10953/339/1/9788484395836.pdf.

⁶⁶ Fisicoquímica. Rama de la ciencia que estudia la interrelación entre las propiedades físicas y químicas de una sustancia. Diccionario Real Academia Española. Página web: dle.rae.es.

caracterizan por una persistencia muy elevada en el ambiente y en los tejidos grasos del organismo humano.

- Compuestos Organofosforados⁶⁷: derivados de la estructura química del fósforo. Presentan una baja persistencia y una fácil degradación a compuestos no tóxicos, asimismo no se acumulan, lo cual impide su incorporación en la cadena trófica⁶⁸, con grado de toxicidad relativamente alta.
- Compuestos Organo-estánicos: son compuestos donde el estaño está presente en su estructura química. Se acumula en los tejidos, perjudicando a los organismos.
- Compuestos Organomercuriales: tienen mercurio en su estructura química. Presentan diferente toxicidad según el derivado orgánico del mercurio.
- Compuestos Carbamatos: constituido de la unión de un átomo de nitrógeno con un grupo lábil⁶⁹, el ácido carbámico. Se caracteriza por presentar una elevada toxicidad, no es acumulable en tejidos y posee una baja estabilidad química.
- Según los organismos que controlan:
 - Acaricida: compuesto químico que se emplea para prevenir o eliminar la acción de los ácaros⁷⁰.
 - Insecticida: químicos empleado para eliminar insectos mediante la inhibición de enzimas. Se aplican en áreas como agricultura, ganadería, entre otros.
 - Fungicida: es una sustancia toxica que se utiliza para inhibir el crecimiento de los hongos perjudiciales para otros seres vivos.
 - Herbicida: producto utilizado para eliminar proliferaciones de plantas indeseadas, estos pueden ser selectivos.
 - Molusquicida: plaguicida empleado para el control de los moluscos como babosas y caracoles. Sin embargo, su aplicación en la jardinería orgánica no es recomendada.
 - Rodenticida: compuesto químico utilizado para prevenir, controlar o eliminar todo tipo de roedores.
- Según clasificación Toxicológica/OMS basada en la Dosis Letal Media (DL₅₀) aguda (*Tabla 5.1.*).
 - Extremadamente peligroso: se trata de un plaguicida que produce efectos mortales en la salud y en el medio ambiente. A nivel de la salud los graves

⁶⁷ Organofosforados. Los organofosforados son sustancias orgánicas de síntesis, conformadas por un átomo de fósforo unido a 4 átomos de oxígeno, o en algunas sustancias a 3 de oxígeno y uno de azufre. Se trata de sustancias de gran toxicidad, nula acumulación en tejidos y baja estabilidad química. Martínez A. Página web CONICET MENDOZA. Breve enciclopedia del ambiente. Recuperada de <https://www.mendoza-conicet.gob.ar/portal/enciclopedia/>.

⁶⁸ Cadena trófica. Secuencia de organismos de un sistema biológico que se nutren unos con otros. Diccionario de la Real Academia de Ingeniería. Página web: dicionario.raing.es.

⁶⁹ Lábil. Dicho de un compuesto: inestable, que se transforma fácilmente en otro. Diccionario Real Academia Española. Página web: dle.rae.es.

⁷⁰ Ácaro. Arácnido generalmente de menos de un milímetro de longitud, de respiración traqueal o cutánea, con cefalotórax tan íntimamente unido al abdomen que no se percibe separación entre ambos, y que sueña ser parásito de otros animales o plantas. Diccionario Real Academia Española. Página web: dle.rae.es.

efectos pueden manifestarse como afecciones que puedan causar la muerte, lesiones permanentes o parálisis temporales o definitivas. En lo que respecta al medio ambiente, es necesario afirmar que un plaguicida es extremadamente peligroso cuando afecta irreversiblemente el ecosistema, e inhabilita completamente el terreno donde este fue aplicado, estos resultados se presentan poco tiempo después a la exposición o exposiciones que hayan tenido los individuos o el ecosistema. En el caso de ser utilizado se deben tomar todas las medidas en cuanto a salud ocupacional se refiere para su correcta manipulación.

- Altamente peligroso: se trata de un plaguicida en gran medida peligroso cuando éste produce efectos negativos en la salud humana de quienes lo manipulan directa e indirectamente, o en las personas presentes en su zona de influencia.

También, en la calidad del ecosistema donde fue aplicado, los efectos o consecuencias se manifiestan en menor escala que los clasificados como extremadamente peligroso, teniendo en cuenta un rango de tiempo más amplio al de los plaguicidas en cuestión. Luego, para su manipulación se deben utilizar todos los elementos de protección personal que sean necesarios para su manipulación.

Categoría Toxicológica	Símbolo pictográfico para cada categoría	Color	DL ₅₀ aguda (Rata): mg de formulación por Kg. de peso corporal			
			Por vía oral		Por vía cutánea	
			Sólido	Líquido	Sólido	Líquido
Ia Extremadamente peligroso			5 ó menos	20 ó menos	10 ó menos	40 ó menos
Ib Altamente peligroso			5-50	20-200	10-100	40-400
II Moderadamente peligroso			50-500	200-2000	100-1000	400-4000
III Ligeramente peligroso			500-200	2000-3000	Más de 1000	Más de 4000
IV No presentan peligrosidad			Más de 2000	Más de 3000		

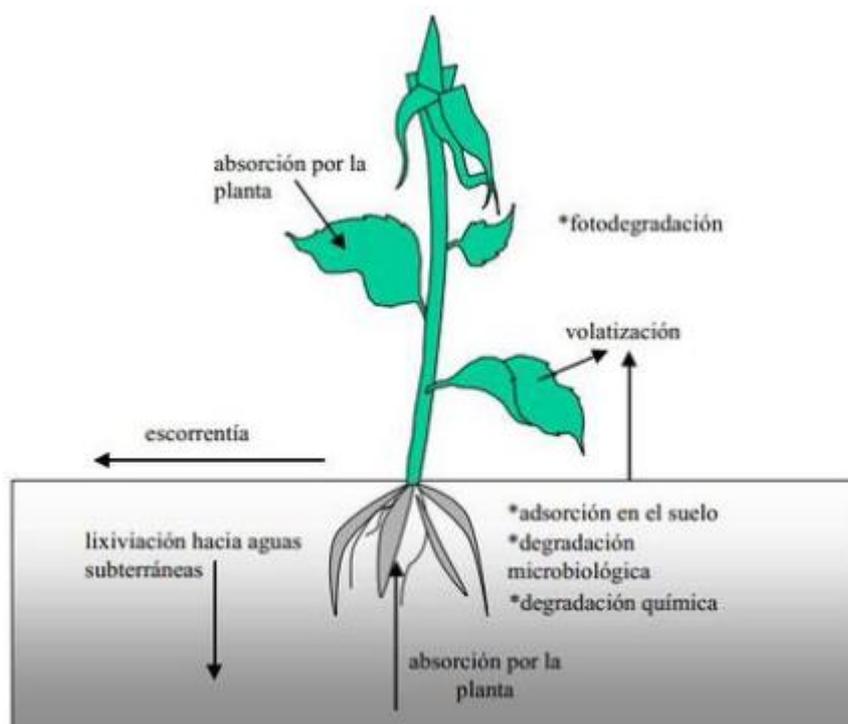
Tabla 5 1. Cuadro de clasificación de plaguicidas por su peligrosidad. Valores de la DL₅₀ aguda de los productos formulados.⁷¹

- Moderadamente peligroso: los plaguicidas moderadamente peligrosos, son aquellos cuyos efectos o consecuencias de utilización son controlables por sus manipuladores. Si bien los efectos que producen a la salud como al ecosistema no son significativos, resultan de atención y cuidado. Asimismo, los elementos de protección personal son necesarios para su manipulación.
- Ligeramente peligroso: las consecuencias o eventos negativos resultantes de la utilización de un plaguicida ligeramente peligroso, son fácilmente restaurables, tanto en el ecosistema como en la salud de las personas, independientemente de

⁷¹ Extraída de Organización Mundial de la Salud, OMS. International Programme of Chemical Safety. The WHO recommended classification of pesticides by hazards and guidelines to classification. Geneva: WHO, 1996 – 1997.

esto las normas de salud ocupacional son completa y obligatoriamente aplicables.

Los plaguicidas que existen, actualmente, en el mercado, son utilizados de forma directa por los consumidores y se caracterizan por un ciclo de vida desde su aplicación hasta su degradación, considerando las cantidades de producto que interactúa de forma directa con los componentes del ecosistema. Se deben señalar las posibles interacciones que se pueden generar entre estos componentes de línea base, y el plaguicida. Al penetrar en el suelo el plaguicida puede sufrir diferentes procesos como ser absorbido por las raíces de las plantas (*Figura 5.3.*), degradarse química, biológica y fisicoquímica, desplazarse superficialmente por acción de escorrentía⁷², infiltrarse y contaminar aguas subterráneas, o simplemente acumularse en el suelo sin necesidad de cambiar su estado original. Lo cual depende de las características que presente el suelo, ya que muchas van a determinar la movilización o interacción del contaminante con este recurso.



*Figura 5. 3. Procesos que afectan a los plaguicidas.*⁷³

Los procesos que experimentan los plaguicidas una vez establecidos en el suelo pueden variar también, de acuerdo a las condiciones ambientales existentes en el lugar de impacto; la meteorología es un factor fundamental en el momento de evaluar la dinámica de una sustancia contaminante en el suelo, pues este factor puede determinar procesos

⁷² Escorrentía. Agua de lluvia que discurre por la superficie de un terreno. Diccionario Real Academia Española. Página web: dle.rae.es.

⁷³ Extraída de Impactos de la agricultura en el recurso hídrico, disponible en internet en la dirección: <http://gidahatari.com/ih-es/impactos-agricultura-recurso-hidrico>.

como volatilización y arrastre o difusión⁷⁴, entre otros: dentro de las condiciones ambientales podemos incluir también la topografía⁷⁵, la presión atmosférica, el tipo de cubierta vegetal en el suelo, y muchas otras más.

Otra clase de transformaciones que presenta un plaguicida en el suelo, son las transformaciones de carácter químico, inducidas principalmente por procesos como la degradación, ya sea biológica, fotoquímica⁷⁶ o química, estos procesos se desarrollan sujetos a condiciones del suelo como, temperatura, pH, microorganismos presentes en el suelo, entre otros.

5.2.4.4. CLORPIRIFÓS

Clorpirifós o, según la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (UIQPA por sus siglas en inglés, International Union of Pure and Applied Chemistry) O-dietil O-3,5,6-trichloropyridin-2-il fosforotioato, es un insecticida organofosforado no sistémico cristalino⁷⁷ que produce fosforilación⁷⁸ irreversible de la acetilcolinesterasa⁷⁹ de los tejidos causando la acumulación de acetilcolina⁸⁰ en las uniones colinérgicas⁸¹ de las neuronas: efecto muscarínico⁸², y en las uniones mioneurales⁸³ de los músculos y ganglios autónomos del insecto, asimismo inhibe la acetilcolinesterasa causando envenenamiento por colapso del sistema nervioso del insecto, ya que interviene perjudicando la contracción muscular del músculo esquelético como el músculo cardíaco y el músculo liso.

El clorpirifós es el ingrediente activo de varios plaguicidas comerciales tales como LORSBAN y PIRFOS GLEX.

⁷⁴ Difusión. Transporte molecular de uno o más componentes de una materia fluida en respuesta a un gradiente de concentración o térmico. Diccionario de la Real Academia de Ingeniería. Página web: diccionario.raing.es.

⁷⁵ Topografía. Arte de describir y delinear detalladamente la superficie de un terreno. Diccionario Real Academia Española. Página web: dle.rae.es.

⁷⁶ Fotoquímica. Rama de la química que estudia la interacción entre las radiaciones luminosas y las moléculas, así como los cambios físicos y químicos que resultan de ella. Diccionario Real Academia Española. Página web: dle.rae.es.

⁷⁷ Cristalino. Que tiene la estructura molecular de los cristales. Diccionario Real Academia Española. Página web: dle.rae.es.

⁷⁸ Fosforilación. Adición de un grupo fosfato o de grupos fosfatos a una molécula. Helena Curtis y N. Sue Barnes. 2006. Biología Sexta Edición en Español. Madrid, España. Editorial Médica Panamericana.

⁷⁹ Acetilcolinesterasa. Enzima que lleva a cabo la hidrólisis de la acetilcolina en colina y acetato. Kim E. Barret, Susan M. Barman, Scott Boitano y Heddwen L. Brooks. 2010. GANONG Fisiología médica 23 edición. China. Mc Graw Hill. A LANGE medical book.

⁸⁰ Acetilcolina. Uno de los principales neurotransmisores; responsables de la transmisión de impulsos nerviosos a través de la sinapsis. Participa en la unión neuromuscular, en el sistema nervioso autónomo y en diversas sinapsis. Participa en la unión neuromuscular, en el sistema nervioso autónomo y en diversas sinapsis del sistema nervioso central. Helena Curtis y N. Sue Barnes. 2006. Biología Sexta Edición en Español. Madrid, España. Editorial Médica Panamericana.

⁸¹ Colinérgico. Dicho de una sustancia: que facilita el impulso nervioso en la unión neuromuscular. Diccionario Real Academia Española. Página web: dle.rae.es.

⁸² Muscarina. Sustancia tóxica que produce intoxicación aguda y grave del sistema nervioso. Diccionario Real Academia Española. Página web: dle.rae.es.

⁸³ Unión mioneural. También denominada unión neuromuscular es la unión entre el axón de una neurona (nervio motor o placa terminal motora) y un efecto (fibra muscular). Solo una fibra nerviosa termina en cada placa terminal sin convergencia de múltiples entradas. Kim E. Barret, Susan M. Barman, Scott Boitano y Heddwen L. Brooks. 2010. GANONG Fisiología médica 23 edición. China. Mc Graw Hill. A LANGE medical book.

El clorpirifós ingresa al medio ambiente a través de la aplicación directa a cosechas, prados, animales domésticos, viviendas y sitios de trabajo. Asimismo, pueden ingresar a través de la volatilización, los derrames y la eliminación de desechos de clorpirifós.

El clorpirifós es moderadamente tóxico (toxicidad aguda) y la exposición crónica se ha relacionado con efectos neurológicos, trastornos del desarrollo y trastornos autoinmunes en el ser humano. Puede ingresar en el cuerpo por la boca, los pulmones y la piel. El mismo, después de ser ingerido o bebido, pasa rápidamente de los intestinos al torrente sanguíneo, el cual lo distribuye al resto del cuerpo. Asimismo, los pulmones representan una vía de ingreso, al respirar productos aerosoles o polvo que lo contienen; cuando entran de esta manera, pasa rápidamente a la sangre.

Según la Agencia de Protección Ambiental ⁸⁴(EPA, por sus siglas en inglés), se trata de uno de los insecticidas organofosforados más utilizados en la agricultura. Se emplea en el control de plagas en la producción de frutas, hortalizas, cereales y plantas ornamentales. Su aplicación representa un elevado impacto a nivel ambiental, contaminando aguas superficiales y subterráneas, lo cual resulta peligroso para las especies acuáticas como así también, la salud humana.

Asimismo, la EPA (U.S. Environmental Protection Agency) afirma:

Que la EPA, ha demostrado que la exposición a bajas concentraciones de clorpirifós puede interferir en el desarrollo del sistema nervioso de los mamíferos y que existe relación entre la exposición al clorpirifós y el bajo peso y cabeza de tamaño reducido en los recién nacidos.

Que la EPA, prohibió el uso del clorpirifós en los productos de uso doméstico debido al alto riesgo que representa para la salud de los niños.

Que la EPA, canceló todos los registros de productos que contengan Clorpirifós para su uso residencial, exceptuando los cebos mata cucarachas con cierre a prueba de niños. (Disposición 2659/2008, con las modificaciones de la Disp. ANMAT N°3145/2005).

5.2.4.5. PIRFOS GLEX⁸⁵

Pirfos GLEX es un insecticida – acaricida organofosforado que actúa por contacto, ingestión e inhalación sobre insectos y ácaros, tales como pulgón de la alfalfa, oruga de la hoja, mosquita del sorgo, gusanos cortadores, chinche verde, acaro del tostado, gusano de la pera y manzana, piojo de San José, entre otros.

Los equipos de aplicación utilizados difieren según se trate de una aplicación foliar o aplicación al suelo. En la aplicación foliar es posible utilizar equipos terrestres de baja presión, mochilas manuales o a motor. En todos los casos el caudal arrojado no debe ser inferior a los 50 litros por hectárea. En aplicaciones aéreas el caudal no debe ser inferior a los 10 litros por hectárea cuando se usa agua como diluyente o 3 litros cuando se utiliza gasoil.

Por otro lado, en la aplicación al suelo, las dosis recomendadas deben aplicarse con equipos terrestres de bajo volumen con caudales no inferiores a 100 litros por hectárea.

⁸⁴ Página web: <https://www.epa.gov/>

⁸⁵ Presentación comercial PIRFOS GLEX, comercializado por Norte Agropecuaria. Urquiza 905, La Rioja, La Rioja, Argentina. (Sin página web)

El Pirfos GLEX (*Figura 5.4.*) es un insecticida – acaricida compatible con las mayoría de los plaguicidas, exceptuando aquellos de reacción alcalina⁸⁶.

Respetando las indicaciones de uso no se trata de un producto fitotóxico⁸⁷.



Figura 5. 4. Presentación comercial del plaguicida PIRFOS GLEX. ⁸⁸

5.3. MEDICIÓN DE CONTAMINANTES

Durante los años 50 y 60, el control de los contaminantes atmosféricos se convirtió en un problema a solucionar en diferentes países alrededor del mundo, dando origen a un rápido desarrollo de técnicas de muestreo y posterior análisis de los datos obtenidos. Sin embargo, fue en 1955, cuando el Congreso de los Estados Unidos de Norteamérica, decretó la Ley Pública N° 159, la cual proporcionaba de asistencia técnica y medios para llevar a cabo investigaciones relacionadas con el control de los contaminantes atmosféricos. En el año 1960, se dio a conocer una primera clasificación de los contaminantes atmosféricos, como así también, la primera “Acta del Aire Limpio” (“Clean Air Act”⁸⁹, en inglés), en los Estados Unidos de Norteamérica.

En 1971, la Agencia de Protección Ambiental (United States Environmental Protection Agency USEPA), divulga los métodos de referencia para el análisis de los seis principales contaminantes atmosféricos: monóxido de carbono, bióxido de azufre, oxidantes fotoquímicos, entre los cuales se encuentran el ozono, hidrocarburos de metano, bióxido de nitrógeno y partículas suspendidas totales, con el objetivo de establecer coherencia con los estándares nacionales de calidad del aire, primarios y secundarios.⁹⁰

Por su parte en 1969, la Organización Mundial de la Salud divulgó una Guía, en la cual se lleva a cabo una selección de metodologías para la medición de contaminantes atmosféricos.

El monitoreo atmosférico involucra la toma de muestra o muestreo, como el análisis de la misma, razón por la cual, es conveniente analizar los diversos métodos de muestreo.

⁸⁶ Alcalina. Dicho de una solución: que tiene un pH superior a 7. Diccionario Real Academia Española. Página web: dle.rae.es.

⁸⁷ Fitotóxico. Sustancia que produce la muerte o trastornos fisiológicos a los vegetales.

⁸⁸ Presentación comercial PIRFOS GLEX, comercializado por Norte Agropecuaria. Urquiza 905, La Rioja, La Rioja, Argentina. (Sin página web). Fuente: el autor.

⁸⁹ Clean Air Act. Programa de acciones y políticas para mantener la calidad del aire; incluye programas de investigación y desarrollo de procedimientos de metodologías y control de las emisiones.

Posteriormente, la muestra deberá ser sometida a un análisis, para determinar su concentración y caracterización.

5.3.1. MÉTODOS DE MEDICIÓN DE CONTAMINANTES

Las metodologías para efectuar el muestreo de los contaminantes atmosféricos pueden dividirse en:

5.3.1.1. MÉTODO PASIVO

El método pasivo es un método de muestreo que recoge un contaminante determinado por medio de su adsorción y absorción⁹¹ en un sustrato químico⁹² seleccionado. Después de su exposición en un periodo apropiado de muestreo, que puede variar desde una hora hasta meses, la muestra es enviada al laboratorio, allí se lleva a cabo el proceso de desorción del contaminante, para su posterior análisis cuantitativo

El muestreo mediante el método pasivo es beneficioso en lo que respecta a su simplicidad de uso y bajo costo para llevar a cabo el sondeo de la calidad del aire en un área específica.

Los beneficios que presenta este método, permite que las técnicas de muestreo pasivo sean apropiadas para infinitas aplicaciones, incluso en conjunto con analizadores automáticos, llamado estudio híbrido, donde el medidor de la calidad del aire pasivo proporciona los datos de calidad de aire de resolución geográfica, mientras que los otros instrumentos brindan información relacionada con el tiempo, como variaciones diurnas de la concentración y sus picos.

No obstante, el muestreo mediante el método pasivo no aplica para todos los contaminantes, solo proporciona valores promedios con resoluciones típicas semanales o mensuales, no presentan gran exactitud (sirven sólo como valor referencial) y, habitualmente, requieren de análisis de laboratorio.

5.3.1.2. MÉTODO ACTIVO

En el método de muestreo activo, el equipo bombea un volumen conocido de aire por un colector, a través de un medio físico, como un filtro (medidor de la calidad del aire activo manual) o una solución química (medidor de la calidad del aire activo automático) por un periodo de tiempo establecido, para su posterior análisis en el laboratorio.

A diferencia de los equipos de muestreo pasivo, los medidores de la calidad del aire activos requieren de energía eléctrica para funcionar.

El volumen adicional de aire muestreado incrementa la sensibilidad, lo cual permite obtener mediciones diarias promedio.

A pesar de que los medidores de la calidad del aire activos son más costosos y complejos en comparación con los medidores de la calidad del aire pasivos, proporcionan una base de datos de gran exactitud.

⁹¹ Absorción. Movimiento neto de agua y sustancias disueltas en ella hacia el interior de una célula, tejido u organismo. Helena Curtis y N. Sue Barnes. 2006. Biología Sexta Edición en Español. Madrid, España. Editorial Médica Panamericana.

⁹² Sustrato químico. Compuesto que se modifica por acción de una enzima. Diccionario de la Real Academia de Ingeniería. Página web. <http://diccionario.raing.es/es>

5.3.1.3. MÉTODO AUTOMÁTICO

El método automático permite llevar a cabo mediciones de forma continua y en un tiempo de monitoreo de horas o minutos, cuando se pretenden, detectar valores máximos de concentraciones de contaminantes, como así también una lectura de las concentraciones de manera automática y en tiempo real.

El espectro de contaminantes a detectar abarca desde los contaminantes criterio (PM₁₀, PM_{2.5}, CO, CO₂, NO₂ y O₃) hasta tóxicos en el aire como mercurio y algunos compuestos volátiles.

El análisis posterior al muestreo de los contaminantes puede llevarse a cabo por diferentes métodos, dentro de los cuales se incluyen la espectroscopia⁹³ y cromatografía de gases⁹⁴.

Los equipos disponibles se clasifican en: analizadores automáticos y monitores de partículas. Los analizadores automáticos determinan la concentración de gases contaminantes en el aire, según las propiedades físicas y/o químicas de los mismos. Por su parte, los monitores de partículas se utilizan para determinar la concentración de partículas suspendidas principalmente PM₁₀ y PM_{2.5}.

El método automático se caracteriza por proporcionar mediciones de elevada resolución y concentraciones mínimas y máximas, en un punto en particular para varios contaminantes criterio (SO₂, NO₂, CO, PM). La muestra se analiza en línea y en tiempo real, generalmente a través de métodos electroópticos: absorción de UV o IR; la fluorescencia⁹⁵ y la quimioluminiscencia⁹⁶ son principios comunes de detección.

No obstante, la adquisición de datos y el procedimiento de operación son costosos, requiere de personal capacitado para su manejo, y un mantenimiento y calibración constante.

5.3.1.4. MÉTODO ÓPTICO POR PERCEPCIÓN REMOTA

El método óptico de percepción remota se basa en técnicas espectroscópicas, que pueden proveer mediciones integrales de multicomponentes a lo largo de una trayectoria determinada en la atmósfera, y en sistemas más complejos, incluso, proveer mediciones con rangos de resolución a lo largo de la trayectoria.

Transmiten un haz de luz de una longitud de onda, específica, a la atmósfera y evalúan la energía absorbida. Cabe destacar que estas mediciones de las concentraciones pueden realizarse en tiempo real.

Los equipos utilizados se conocen como sensores remotos.

⁹³ Espectroscopía. Técnica basada en los conocimientos y métodos que permiten la obtención y el análisis de los espectros atómicos y moleculares. Diccionario de la Real Academia de Ingeniería. Página web: <http://diccionario.raing.es/es/lema/espectroscopía-0>.

⁹⁴ Cromatografía de gases. Técnica cromatográfica en la que la muestra se volatiliza y se inyecta en la cabeza de una columna cromatográfica. Diccionario de la Real Academia de Ingeniería. Página web: <http://diccionario.raing.es/es/lema/cromatografía-de-gases>.

⁹⁵ Fluorescencia. Tipo particular de luminiscencia, que caracteriza a las sustancias que son capaces de absorber energía en forma de radiaciones electromagnéticas y luego emitir parte de esa energía en forma de radiación electromagnética de longitud de onda diferente (mayor). Diccionario de la Real Academia de Ingeniería. Página web: <http://diccionario.raing.es/es/lema/fluorescencia>.

⁹⁶ Quimioluminiscencia. Fenómeno en el que en algunas reacciones químicas la energía liberada no sólo se emite en forma de calor o de energía química sino en forma de luz. Diccionario de la Real Academia de Ingeniería. Página web: <http://diccionario.raing.es/es/lema/quimioluminiscencia>.

Sin embargo, el método de adquisición de datos es costoso, se necesita un personal altamente capacitado para su operación y calibración, y los valores obtenidos durante el muestreo, no siempre son comparables con los adquiridos mediante los analizadores automáticos convencionales.

5.3.2. MÉTODO SELECCIONADO PARA EL MONITOREO

El método Activo de monitoreo de la calidad del aire se caracteriza, principalmente, por utilizar un sistema de succión por bombeo de un volumen, generalmente conocido, de aire, el cual es inducido, ya sea por una bomba eléctrica o un equipo similar. Las muestras de contaminantes se recolectan por medios físicos, como un filtro (medidor de la calidad del aire activo manual), o químicos (medidor de la calidad del aire activo automático) para su posterior análisis en el laboratorio.

Asimismo, se trata de un método de fácil operación, se alimenta eléctricamente, para poder succionar el aire a muestrear. Si bien, no es posible obtener valores mínimos y máximos durante el día, el volumen adicional de aire muestreado aumenta la sensibilidad, lo que permite obtener mediciones diarias promedios generalmente de 24 horas.

En relación al costo, es, comparativamente, bajo en relación con otros métodos de monitoreo, tales como, el monitoreo automático.

Los medidores utilizados en este método se clasifican en burbujeadores⁹⁷ (gases) e impactadores⁹⁸ (partículas).

Es necesario destacar que, de acuerdo con uno de los objetivos del presente proyecto integrador de disminuir el período de monitoreo aéreo, aplicando el principio de funcionamiento del método de monitoreo Activo que emplean los equipos muestreadores de la calidad del aire para la detección de contaminantes atmosféricos de tipo fijo, resulta imprescindible incrementar en gran medida el caudal de flujo de aire. En otras palabras, observamos que para disminuir el tiempo de monitoreo de 24 horas (característico del método de monitoreo Activo) a un período de una hora, incluso de minutos, el caudal flujo de aire que circulará por el prototipo de medición debe ser sustancialmente menor en comparación con el caudal de flujo de aire que bombean los equipos que se comercializan en la actualidad.

Luego, de lo expuesto anteriormente, se concluye que el diseño y dimensionamiento de la tobera del prototipo de medición, en especial la zona crítica o garganta, lugar donde se colocan los filtros y circulará el caudal de flujo de aire, como así también la selección del motor eléctrico a utilizar, resultan factores determinantes para poder probar que la

⁹⁷ Burbujeador de vidrio. Dispositivo diseñado para la recolección de contaminantes peligrosos en el interior de un medio líquido, haciendo pasar burbujas de aire succionado por intermedio de una bomba cuyo volumen es conocido a través de un tubo impinger. El líquido utilizado en el muestreo se utiliza en el análisis en el laboratorio para determinar la concentración del contaminante de interés. GRUPO MICROANALISIS MICROIMPORT. Pagina web: <http://www.microimport.mx/productos/burbujeadores-vidrio/>

⁹⁸ Impactador de partículas. Dispositivo para medir concentraciones de masa de material particulado de las partículas suspendidas en el aire con un determinado tamaño. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), María de la O Culver González. 2015. Calidad del aire interior. Contaminantes biológicos (II). Tipos de muestreo. Recuperado de <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/NTP/NTP/Ficheros/1055a1065/ntp-1065w.pdf>.

reducción del periodo de monitoreo aéreo es posible. (Ver Sección 6.3. Propuestas y Selección y Sección 6.4. Diseño del prototipo del presente informe.)

5.3.2.1. METODOLOGÍA DEL MUESTREO ACTIVO

El procedimiento que aplica el muestreo activo se trata de forzar el paso de una corriente de aire medida, a través de un sistema de colección, el cual presenta un medio químico o físico, cuya función es la recolección de él o los contaminantes a muestrear. Este procedimiento se lleva a cabo mediante el uso de un sistema de bombeo.

La recolección es posible por el accionar del sistema de bombeo, luego el flujo de aire es contenido en bolsas de plástico o en depósitos de vidrio o de metal, o por procesos, tales como absorción, adsorción, difusión, filtración⁹⁹, reacción o por combinación de ellos, utilizando medios de recolección.

Posteriormente, las muestras serán analizadas, para establecer la concentración del contaminante de interés.

Un equipo de muestreo activo, utilizado habitualmente, está compuesto por:

- Línea de muestreo que incluye:
 - Entrada, mangueras y tuberías.
 - Sistemas de medición de flujo y/o de volumen.
 - Una bomba.
 - Un sistema de recolección de la muestra, compuesto por instrumentos de recolección y medios de recolección.

5.3.2.2. TIPOS DE CONTAMINANTES QUE DETECTA

El método de medición de la calidad del aire Activo permite la detección de determinados contaminantes, tales como:

- Gases: los cuales se clasifican según el sistema de recolección de la muestra que se aplica:
 - Medios y técnicas físicas: gases como el metano, etano y propano y gases estables, entre los cuales se encuentran el monóxido de carbono, dióxido de carbono, oxígeno y dióxido de nitrógeno.
 - Medios y técnicas químicas: gases como el ozono, óxidos de nitrógeno y dióxido de azufre.
- Material particulado: hidrocarburos, de bajo nivel de toxicidad en el aire, haluros, y compuestos orgánicos volátiles y algunos compuestos inorgánicos.

⁹⁹ Filtración. Eliminación de partículas en suspensión de una masa de agua pasándola a través de una capa de material poroso, o a través de una malla de tamaño atenuado. Diccionario de la Real Academia de Ingeniería. Página web: diccionario.raing.es.

5.3.2.3. ELEMENTOS UTILIZADOS EN EL SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA

El sistema de recolección de la muestra, integrado por los instrumentos y los medios de recolección, se caracteriza por la toma de la muestra de aire y separación de los contaminantes que van a ser analizados. Los instrumentos de recolección son los diferentes recipientes, según sea el caso de contaminantes gaseosos o de material particulado, que contendrán la muestra; y el medio de recolección, el cual puede ser un solvente¹⁰⁰ químico, en el que se absorbe o reacciona la especie contaminante de interés, un adsorbente o un filtro. Luego, los instrumentos que componen el sistema de recolección, dependen, en gran medida, del tipo de muestreo que se llevará a cabo y del medio que contienen. En general, se manejan en conjunto y puede ser de varios tipos, entre los que predominan los siguientes:

En el muestreo de gases se utilizan:

- Bolsas de plástico y depósitos de vidrio o de metal, tales como “canisters” de acero inoxidable. Resulta necesario aclarar que los “canisters” son envases redondos o cilíndricos, generalmente de metal, que almacenan alimentos o productos químicos.
- Frascos para la absorción en fase líquida de gases, especialmente inorgánicos.
- Instrumentos de adsorción, para coleccionar gases orgánicos y algunos inorgánicos.
- “Denuders” (tubos cilíndricos) para la separación por difusión de gases y partículas.
- Filtros impregnados químicamente. En la línea de muestreo debe existir una separación previa por medio de otro filtro de las partículas de la corriente de aire que, luego, pasarán por el filtro impregnado.

En el muestreo de partículas se utilizan:

- Filtros, para la recolección de partículas suspendidas.
- Impactores, que miden el tamaño de las partículas suspendidas, y su distribución.

Las bolsas de plástico y depósitos de vidrio o de metal son recipientes inertes¹⁰¹ en los cuales se introduce por bombeo una muestra de aire. Se utilizan para el muestreo de compuestos como el metano, etano y propano y gases estables, tales como monóxido de carbono, dióxido de carbono, oxígeno y dióxido de nitrógeno. No obstante, no resultan útiles en el muestreo de gases reactivos como el ozono, óxidos de nitrógeno y dióxido de azufre, los cuales es preferible capturarlos y estabilizarlos mediante alguna técnica química de absorción previo análisis en el laboratorio.

Actualmente, se utilizan “canisters” de acero inoxidable para muestreos de hidrocarburos, con bajos niveles de toxicidad en el aire, halocarburos y compuestos orgánicos volátiles. Con el objetivo de reducir imperfecciones y/o bordes de la superficie metálica de los canisters expuesta a la adsorción de los gases, el interior de estos recipientes es pulido previamente.

En la recolección de muestras de fase líquida, se utilizan botellas o frascos usados en el muestreo de gases, con la diferencia que en el caso de muestras líquidas, se emplean

¹⁰⁰ Solvente. Dicho de una sustancia: que puede disolver y producir con otra una mezcla homogénea. Diccionario Real Academia Española. Página web: dle.rae.es.

¹⁰¹ Inerte. Inactivo, ineficaz, incapaz de reacción. Diccionario Real Academia Española. Página web: dle.rae.es.

medios de recolección absorbentes para la absorción en fase líquida de gases, la cual debe ser estable y no puede ser volátil, corrosiva¹⁰², viscosa¹⁰³, ni espumosa.

Las reacciones a las cuales se someten los contaminantes absorbidos, en general son colorimétricas¹⁰⁴ o fotométricas¹⁰⁵, razón por la cual, es necesario añadir un reactivo que produzca color, o esperar a que éste se produzca antes de medirlo en un colorímetro¹⁰⁶, el tiempo de espera suele ser de 30 minutos. En estos métodos de absorción se utiliza un testigo que no está expuesto al contaminante para marcar el punto cero, y todas las lecturas del colorímetro se comparan con las curvas de calibración preparadas con soluciones estándar. Existen diversos métodos de análisis de las soluciones, aplicados en los laboratorios, tales como titulación¹⁰⁷, conductividad¹⁰⁸, fotometría, cromatografía, entre otros.

Las diferentes formas de botellas absorbentes se agrupan en dos tipos básicos: el de choque o de golpe, en el caso de la primera, la corriente de aire muestreado se hace pasar por un tubo de vidrio con un orificio muy fino en un extremo. El tubo de vidrio se encuentra montado en una botella de tal forma que el orificio queda a 5 mm. del fondo plano de la misma, entrando el aire muestreado en la botella que contiene el líquido absorbente a una gran velocidad, debido a la aceleración provocada por el paso por el orificio, chocando con el fondo para dispersarse y mezclarse fuertemente con el solvente.

Por otro lado, uno de los ejemplos de botellas absorbentes de tipo de choque es el burbujeador de gases de vidrio poroso, en el cual la corriente de gases se rompe en burbujas muy finas que pasan lentamente a través del solvente, aumentando en gran medida la superficie de contacto, lo cual proporciona un mejor nivel de absorción.

Entre estos tipos de botellas se destacan como más usadas:

- a) La Botella de Muenke.
- b) El “impinger”.
- c) La Botella de Fritten.

La Botella de Muenke es un modelo formado a partir de la combinación de los dos tipos de formas de botellas descritos previamente, lo cual facilita el manejo del flujo de aire, beneficiando la calidad de absorción, y el procedimiento de limpieza.

El “Impinger” es uno de los instrumentos del tipo de choque más utilizado, en especial en el caso de gases muy solubles donde los niveles de absorción, en la reacción química entre el gas que se analiza y el líquido absorbente, son elevados. Se caracteriza

¹⁰² Corroer. Dicho de un agente externo: destruir paulatinamente un cuerpo metálico alterando o no su forma. Diccionario Real Academia Española. Página web: dle.rae.es.

¹⁰³ Viscoso. Pegajoso, glutinoso. Diccionario Real Academia Española. Página web: dle.rae.es.

¹⁰⁴ Colorimetría. Ciencia que estudia la medida del color y su cuantificación mediante valores numéricos con objeto de estandarizarlos, clasificarlos y poder reproducirlos. Diccionario Real Academia de Ingeniería. Página web: diccionario.raing.es.

¹⁰⁵ Fotometría. Rama de la óptica que trata de las leyes relativas a la intensidad de la luz y de los métodos para medirla. Diccionario Real Academia Española. Página web: dle.rae.es.

¹⁰⁶ Colorímetro. Aparato de medición utilizado en colorimetría. Diccionario Real Academia Española. Página web: dle.rae.es.

¹⁰⁷ Titulación. Proceso en el que una sustancia (el titulante) se añade de manera cuidadosa a otra (el analito) hasta que se ha agregado la cantidad estequiométrica. La cantidad de titulante requerida permite conocer la del analito, inicialmente presente. Marcela Rizzotto. 2007. Diccionario de Química General e Inorgánica Primera Edición. Rosario, Argentina. Corpus Editorial y Distribuidora.

¹⁰⁸ Conductividad. Propiedad que tienen los cuerpos de transmitir el calor o la electricidad. Diccionario Real Academia Española. Página web: dle.rae.es.

por el manejo de flujo de elevado volumen de aire, con un procedimiento fácil de limpieza.

Las Botellas de Fritten son del tipo burbujeadores de gases, con una capa de vidrio poroso, con un tamaño de grano fino, el cual separa el gas que ingresa, permitiendo una buena dispersión a velocidades muy bajas.

Se aplica, preferentemente, con gases de escasa solubilidad donde la dispersión es un factor fundamental, para lograr una mezcla correcta. Luego, su principal ventaja radica en la calidad de la absorción.

Otro instrumento empleado en la muestreo activo del aire es un receptáculo que puede ser un frasco o tubo de vidrio, en el cual se efectúa, de modo discontinuo, la adsorción en vía seca del gas a muestrear en un material adsorbente que puede ser carbón activo¹⁰⁹, silicagel, polímeros como Tenax, o esferas de vidrio, o de plata, revestidas. Entre los instrumentos, de recolección de muestra, se encuentran los tubos indicadores activos en los cuales se fuerza el paso de aire, mediante una bomba, a través de los mismos. Se trata de un tubo de vidrio sellado en los extremos, que contiene un material granulado inerte en el que se ha absorbido un reactivo (*Figura 5.5.*). Para utilizarlos es necesario romper los extremos del tubo y hacer pasar por él una cantidad medida de aire para que se colorea el interior del tubo. La longitud de la banda y el tono del color, en comparación con la cantidad de gas que ha circulado, indicarán la concentración del contaminante.



Figura 5. 5. Tubo adsorbente de carbón activo.¹¹⁰

¹⁰⁹ Carbón activo. Adsorbente carbonáceo altamente cristalino que presenta una estructura porosa, caracteriza por poseer una cantidad enorme de microporos. Real Academia de Ingeniería. Página web: dicionario.raing.es.

¹¹⁰ Extraída de “NTP 117: Toma de muestra de gases y vapores con bolsas. Norma general.”. Xavier Guardino Y Solá. INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. MINISTERIO DE TRABAJO Y ASUNTOS SOCIALES DE ESPAÑA. Recuperado

El “Denuder” es un tubo cuyas paredes interiores están revestidas con una sustancia química absorbente que atrapa al gas de interés. El aire muestreado se hace pasar por el tubo en condiciones de flujo laminar de manera que se produzca la difusión del gas hacia las paredes del mismo tubo, absorbiéndose el gas de interés y separándose así del resto de la muestra. Mientras tanto, las partículas continuarán su paso por el tubo para ser atrapadas por un filtro a la salida de este. Usualmente se colocan varios tubos concéntricos para aumentar la superficie de contacto (*Figura 5.6.*).

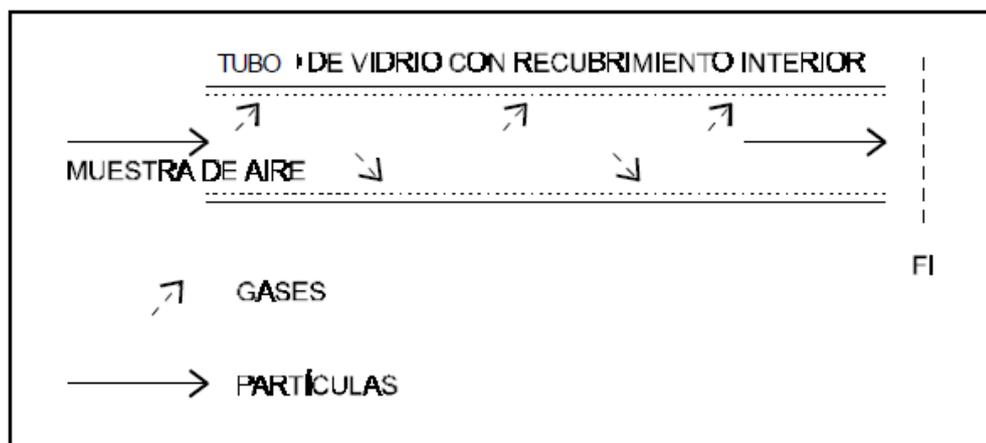


Figura 5. 6. Tubo "Denuder".¹¹¹

Los filtros impregnados químicamente que se utilizan para la absorción o reacción química de contaminantes, se preparan, mediante la inmersión de estos filtros, en una solución química seleccionada, y luego son secados antes de ser utilizados. Durante el muestreo aéreo se hace pasar el aire por el filtro, de esta manera, el contaminante de interés reaccionará con el químico que se encuentra en el filtro. Después, el producto de la reacción será analizado, con el objetivo de determinar la cantidad de contaminante presente en el aire muestreado.

5.3.2.4. METODOLOGÍA POST-MUESTREO

La contaminación ambiental por gases orgánicos volátiles¹¹² y gases inorgánicos en la agricultura constituye un problema de gran importancia. El estudio de la distribución y comportamiento de estos compuestos desde que se realiza su aplicación, permite analizar su permanencia en una zona determinada y su capacidad de transferencia a otros lugares.

www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/GuiasMonitor/HigieneIndustrial/III/Ficheros/hiiii14.pdf

¹¹¹ Extraída de “INTRODUCCIÓN AL MONITOREO ATMOSFÉRICO”. Martínez, Ana Patricia; Romieu, Isabelle. ECO/GTZ/Departamento del Distrito Federal. Recuperado <http://www.bvsde.paho.org/bvsci/e/fulltext/intromon/intromon.html>.

¹¹² Compuesto orgánico. Agregado químico que contiene átomos de carbono en su molécula, frecuentemente formando cadenas o anillos de átomos de carbono. Contiene, además, hidrógeno y puede tener otros elementos, como oxígeno, nitrógeno o halógenos, pero se excluyen el monóxido y dióxido de carbono y algunos compuestos de carbono de carácter inorgánico. Diccionario de la Real Academia de Ingeniería. Página web: diccionario.raing.es.

Procesos como la adsorción, degradación y volatilización¹¹³, como así también otros procesos de transporte como la escorrentía y la lixiviación¹¹⁴ son responsables de la aparición de estos contaminantes en la atmosfera, suelo y aguas superficiales y subterráneas.

Una de las metodologías que se aplica en la determinación de gases orgánicos e inorgánicos volátiles es la espectrometría de masas. Se trata de una técnica de elevada sensibilidad, que permite obtener espectros de masas con cantidades inferiores a un nanogramo.

Resulta imprescindible, una eficiente identificación de los gases contaminantes, orgánicos e inorgánicos volátiles, el cual se lleva a cabo por medio del acoplamiento cromatografía de gases- espectrometría de masas (GC/MS).

La determinación de gases contaminantes orgánicos e inorgánicos volátiles, en el aire, implica la aplicación de diversos sistemas capaces de extraer de la matriz los analitos¹¹⁵ de interés. Se han utilizado adsorbentes como el carbón activo. Una vez que han sido extraídos de la fase aérea, se lleva a cabo la desorción de los mismos, utilizando diferentes métodos.

5.3.2.4.1. PROCEDIMIENTO

Sistema de Análisis Cromatográfico: Cromatógrafo de gases con detector selectivo de masas

Preparación de muestras para el análisis de los contaminantes

La preparación de la muestra consiste en una serie de pasos destinados a la obtención de una determinada matriz¹¹⁶ que contenga los compuestos de interés (analitos) en un disolvente apropiado para la técnica de análisis a emplear. La cantidad a analizar depende, a menudo, de la forma en que se ha realizado esta etapa preliminar. La preparación de la matriz para el análisis, que se lleva a cabo a continuación del muestreo propiamente dicho, puede ser, laborioso y llevar un cierto tiempo. Lo ideal sería separar completamente el analito del resto de constituyentes que forman parte de la muestra.

Técnicas de preparación de muestra

Los métodos cromatográficos son rigurosos respecto de la naturaleza de las matrices en las cuales se hallan los analitos. Para el análisis de microcontaminantes, la técnica de extracción en fase sólida es una opción más efectiva que el método clásico de extracción con disolventes en un embudo de decantación¹¹⁷.

¹¹³ Volatilizar. Transformar una sustancia en gas. Diccionario Real Academia Española. Página web: dle.rae.es.

¹¹⁴ Lixiviación. Tratar una sustancia compleja, como un mineral, con un disolvente adecuado para separar sus partes solubles de las insolubles. Diccionario Real Academia Española. Página web: dle.rae.es.

¹¹⁵ Analito. Componente (elemento, compuesto o ion) de interés analítico de una muestra, se desea conocer su concentración en un proceso de medición química. Diccionario de Real Academia de Ingeniería. Página web: diccionario.raing.es.

¹¹⁶ Matriz. Elemento mayoritario en la composición de un paisaje ecológico, que constituye la base más o menos interconectada sobre la que se asientan otros elementos del paisaje. Diccionario de la Real Academia de Ingeniería. Página web: diccionario.raing.es.

¹¹⁷ Decantación. Separar sustancias no miscibles de diferente densidad en un medio líquido. Diccionario Real Academia Española. Página web: dle.rae.es.

El procedimiento de extracción en fase sólida se basa en el paso de la muestra por un cartucho¹¹⁸, relleno con un adsorbente sólido, quedando los analitos retenidos en él, para luego ser eluidos¹¹⁹ por un disolvente adecuado para el proceso.

Este procedimiento puede dividirse en las siguientes etapas:

- 1) El solvente se prepara haciendo pasar un disolvente de propiedades análogas a la muestra.
- 2) La muestra se carga en el cartucho.
- 3) La muestra se lava con un disolvente que eluya los diferentes compuestos de la misma, con excepción de los analitos.
- 4) Se utiliza un disolvente apropiado para llevar a cabo la elución¹²⁰ de los analitos.

Existe una gran variedad adsorbentes tales como carbón activo, sílices enlazadas, químicamente, con cadenas alquílicas, o grupos polares, y polímeros porosos.

La Cromatografía¹²¹

La cromatografía se introduce en los métodos de separación en 1903 y su posterior desarrollo y evolución se produce hacia 1930. La primera persona en definirla fue el botánico ruso Miguel Tswett (1872-1913) en 1906 y eligió el término *cromatografía* procedente de las palabras griegas *kromatos* (color) y *graphos* (escrito) ya que utilizó el término cromatografía para describir la separación de pigmentos vegetales en distintas zonas coloreadas. Aunque la mayor parte de las separaciones que se realizan actualmente son de compuestos incoloros, el término inicial cromatografía se ha mantenido.

La cromatografía puede ser definida como un método utilizado principalmente para la separación de los componentes de una muestra, en el cual los componentes son distribuidos entre dos fases, una de las cuales es estacionaria, mientras que la otra es móvil. La fase estacionaria puede ser un sólido o un líquido soportado en un sólido o en un gel (matriz). La fase estacionaria puede ser empaquetada en una columna, extendida en una capa, distribuida como una película.

Se utiliza el término general de lecho para definir las distintas formas en que pueden encontrarse la fase estacionaria. Las separaciones cromatográficas se consiguen mediante la distribución de los componentes de una mezcla entre la fase fija y la fase móvil. La separación entre dos sustancias empieza cuando una es retenida más fuertemente por la fase estacionaria que la otra, que tiende a desplazarse más rápidamente en la fase móvil. Las retenciones mencionadas pueden tener su origen en dos fenómenos de interacción que se dan entre las dos fases y que pueden ser: la *adsorción*, que es la retención de una especie química por parte de los puntos activos de la superficie de un sólido quedando delimitado el fenómeno a la superficie que separa las fases o superficie interfacial, y la *absorción*, que es la retención¹²² de una especie química por parte de una masa, y debido

¹¹⁸ Cartucho. Dispositivo intercambiable, provisto de lo necesario para que funcionen ciertas máquinas, aparatos e instrumentos. Diccionario Real Academia Española. Página web: dle.rae.es.

¹¹⁹ Eluir. Extraer, mediante un líquido apropiado, una sustancia del medio sólido que la ha absorbido. Diccionario Real Academia Española. Página web: dle.rae.es.

¹²⁰ Eluir. tr. Químico. Extraer, mediante un líquido apropiado, una sustancia del medio sólido que la ha absorbido. Diccionario Real Academia Española. Página web: dle.rae.es.

¹²¹ Textoscience.com, Cromatografía. (En línea) disponible en internet en la dirección: <https://www.textoscience.com/quimica/cromatografia>

¹²² Retención. Volumen de un material mantenido o contenido en un recipiente o en una conducción del proceso. Diccionario Real Academia de Ingeniería. Página web: diccionario.raing.es.

a la tendencia que esta tiene a formar mezcla con la primera, absorción pura, o a reaccionar químicamente con la misma, absorción con reacción química, considerando ambas como un fenómeno másico y no superficial.

Cromatografía Gaseosa¹²³

La Cromatografía Gaseosa (CG) es una técnica utilizada para la separación y análisis de mezclas de sustancias volátiles. La muestra es vaporizada e introducida en un flujo de un gas apropiado, denominado de fase móvil o gas de arrastre. Este flujo de gas con la muestra vaporizada pasa por un tubo conteniendo la fase estacionaria (columna cromatográfica), donde ocurre la separación de la mezcla. La fase estacionaria puede ser un sólido adsorbente (Cromatografía Gas-Sólido) o, más comúnmente, una película de un líquido poco volátil, soportado sobre un sólido inerte (Cromatografía Gas-Líquido con Columna Empaquetada o Rellenada) o sobre la propia pared del tubo (Cromatografía Gaseosa de Alta Resolución).

Las sustancias separadas salen de la columna disueltas en el gas de arrastre y pasan por el detector; dispositivo que genera una señal eléctrica proporcional a la cantidad del material eluido. El registro de esta señal en función del tiempo es el cromatograma, en donde las sustancias aparecen como picos con áreas proporcionales a sus masas, lo que posibilita el análisis cuantitativo.

Cromatograma

Un cromatograma es la representación gráfica de los resultados obtenidos por un cromatógrafo de gases, éstos se expresan en un plano cartesiano, cuyos ejes representan el tiempo de retención y la respuesta del detector, respectivamente, los resultados de la redacción se manifiestan mediante picos, los cuales dependiendo de los tiempos de retención, identifican cada una de las sustancias que están siendo analizadas.

En la *Figura 5.7.* es posible observar la detección de varias sustancias objeto de análisis en una misma muestra, los picos representan cada una de ellas, las cuales podrán ser identificadas según su tiempo de retención. Es importante destacar que el primer pico, es el pico de detección del solvente utilizado para el análisis de la muestra.

¹²³ Fabio Augusto, Métodos de separación. Página web:
<http://chemkeys.com/es/2000/07/03/cromatografia-a-gas-curso-en-diapositivas/>.

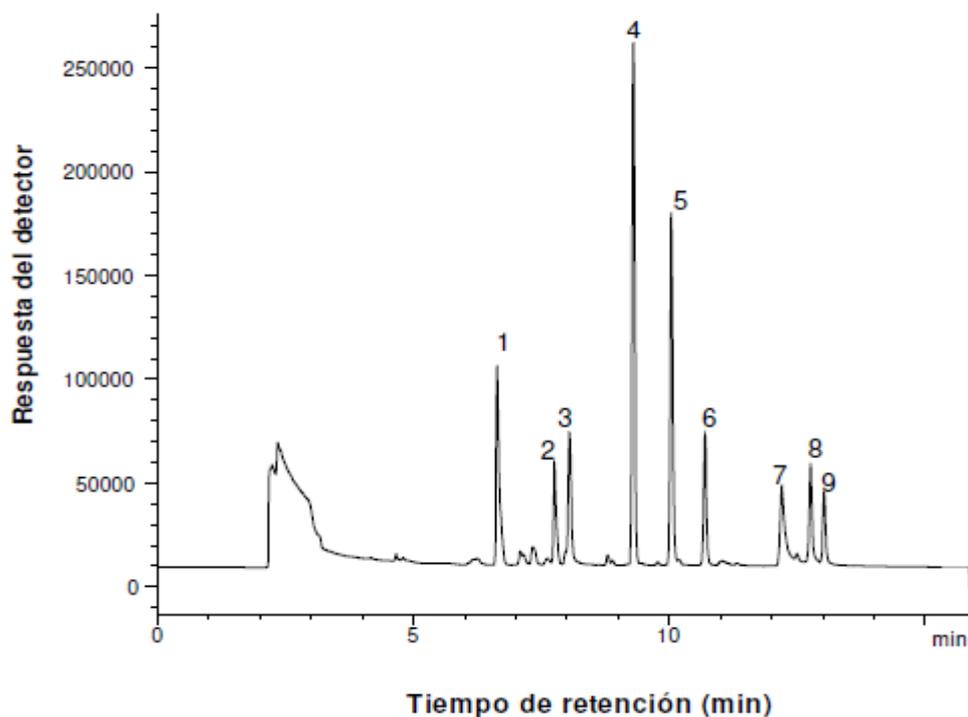


Figura 5. 7. Cromatograma obtenido, utilizando el programa de temperatura corto, de una mezcla de concentración 0,1 mg/ml de los insecticidas estudiados, donde: (1) lindano, (2) heptacloro, (3) clorpirifos, (4) endosulfan-I, (5) endosulfan -II, (6) endosulfan sulfato, (7) tetradifon, (8) cihalotrin y (9) acrinatrin.¹²⁴

Cromatografía de Gases

En cromatografía de gases, la muestra se volatiliza y se inyecta en la cabeza de una columna cromatográfica. La elución se produce por el flujo de una fase móvil de un gas inerte (generalmente helio o nitrógeno) que no interacciona con las moléculas del analito: transporta el analito a través de la columna. El analito se distribuye entre la fase móvil gaseosa y una fase líquida inmovilizada sobre la superficie de un sólido inerte.

Existen distintas formas de introducir la muestra en un cromatógrafo de gases:

- Inyección de muestras líquida.- Es necesario preparar un extracto de la muestra en un disolvente volátil, como acetona, n-hexano y ciclohexano. El volumen de extracto inyectado está comprendido entre 1-20 μ L.
- Espacio de cabeza estático.- Se inyecta un volumen del espacio de cabeza del vial, por lo que esta modalidad es muy limpia, ya que evita la acumulación de componentes no volátiles en el cromatógrafo de gases. A bajas concentraciones (< 50 ppb), el equilibrio de distribución de los analitos de la muestra y el espacio de cabeza depende de la concentración, no del volumen de la muestra. Sin embargo, a concentraciones mayores, el volumen adquiere una mayor significación y se debe mantener constante en todas las muestras y patrones.

¹²⁴ Extraída de Javier Castro Jiménez. Madrid, 2002. Tesis Doctoral DETERMINACIÓN, PERSISTENCIA Y DISTRIBUCIÓN DE INSECTICIDAS DE USO AGRÍCOLA EN EL MEDIO AMBIENTE. Recuperada http://jcastrojimenez.net/web_documents/PhD%20thesis%20JCJ.pdf

- Espacio de cabeza dinámico (purga y trampa).- Los componentes volátiles de la muestra son arrastrados por una corriente gaseosa hasta una trampa fría o un soporte inerte, donde se produce el enriquecimiento de los analitos, que después son transferidos directamente hacia el cromatógrafo de gases mediante desorción térmica. La principal desventaja de esta técnica es que los interferentes volátiles son preconcentrados al mismo tiempo que los analitos.
- SPME.- Los analitos pueden ser desorbidos de la fibra directamente en el inyector del cromatógrafo de gases.

La espectrometría de masas como detector para cromatografía

La espectrometría de masas es una técnica basada en la ionización de la muestra y en la separación y registro de los iones producidos, según la relación masa-carga, en un sistema de vacío. Actualmente es la técnica de detección más empleada para el análisis de contaminantes, en reemplazo de los detectores selectivos en cromatografía gaseosa y los detectores ópticos en cromatografía líquida, lo cual se justifica por las exigencias de mayor sensibilidad de los métodos analíticos utilizados.

El acoplamiento cromatografía de gases / espectrometría de masas (CG-EM) proporciona suficiente selectividad y sensibilidad en el análisis de compuestos relativamente apolares, volátiles y térmicamente estables.

Las ventajas que presenta la espectrometría de masas y que la convierten en una técnica de referencia para el análisis de contaminantes son:

- Es cualitativa y cuantitativa.
- Puede analizar mezclas complejas y determinar especies que coeluyen.
- Gran sensibilidad.
- Universal y específica.
- Pueden proporcionar información estructural e isotrópica.
- Técnica rápida.

Un espectrómetro de masas es un instrumento que separa los iones que se desplazan rápidamente según su relación masa – carga, m/z (donde m es la masa del ion en unidades de masa atómica y z es su carga). La mayoría de los iones que se estudian presenta una sola carga, de modo que la relación es sencillamente el peso molecular del ion.

Los espectrómetros de masas disponen de un sistema de vacío para mantener bajas presiones ($1.33e^{-6}$ Pa a $1.33e^{-2}$ Pa) en todos los componentes del instrumento, lo cual se justifica por la interacción de las partículas cargadas, incluidos los electrones, con los componentes atmosféricos, que como consecuencia son destruidos.

Un espectrómetro de masa está formado por tres partes elementales: fuente de ionización, analizador de iones (o de masas) y el detector.

La forma más extendida, y de mayor potencialidad analítica, de introducir la muestra en un espectrómetro de masa es mediante el acoplamiento del mismo a una

técnica separativa: cromatografía gaseosa (CG – EM), cromatografía líquida¹²⁵ (CL – EM), o electroforesis capilar¹²⁶ (EC – EM). (Figura 5.8.)

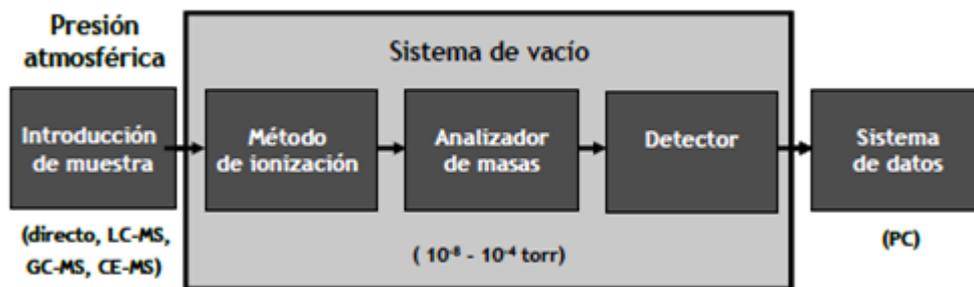


Figura 5. 8. Esquema de un espectrómetro de masas.¹²⁷

Las fuentes de ionización¹²⁸ se clasifican en fuentes blandas y fuentes duras. Las fuentes blandas generan, en menor medida, iones fragmentados, razón por la cual el espectro de masas resultante suele constar del pico correspondiente al ion molecular (CG – EM) o molécula (de) protonada (CL - EM). En consecuencia, los espectros de masas adquiridos por ionización por fuentes blandas contienen escasa o ninguna información estructural de los componentes analizados, sin embargo, es posible conseguir información de la masa molecular de los mismos. Por su parte, las fuentes duras otorgan una gran cantidad energía a las moléculas, colocándolas en un estado de energía altamente excitado. Luego, la relajación de estas moléculas implica la rotura de algunos de sus enlaces, originando iones fragmentados, con una relación masa – carga menor que la del ion molecular.

La técnica de ionización que se utiliza, principalmente, en el análisis directo de muestras solidas por espectrometría de masas es la desorción / ionización por láser asistida por una matriz. La muestra se mezcla con un gran exceso de una matriz, habitualmente un ácido orgánico cristalino de bajo peso molecular, con grupos funcionales que adsorben radiaciones en la región ultravioleta y, luego, se expone a la acción de un láser de elevada energía o de un haz de átomos, generalmente de argón o xenón, también, de alta energía.

En el análisis por CG – EM, la fuente de ionización se encarga de transformar la corriente gaseosa que abandona el cromatógrafo de gases en una corriente de iones. Para lo cual, es necesario el uso de fuentes ionización en fase gaseosa, ya que se volatiliza la

¹²⁵ Cromatografía líquida. Conjunto de técnicas analíticas cromatográficas ampliamente utilizadas, la cual permite separar físicamente los distintos componentes de una solución por la adsorción selectiva de los constituyentes de una mezcla. Diccionario Real Academia de Ingeniería. Página web: diccionario.raing.es.

¹²⁶ Electroforesis capilar. Técnica de alta eficiencia que incorpora una fuente de alta tensión para lograr la separación de los distintos compuestos. Diccionario Real Academia de Ingeniería. Página web: diccionario.raing.es.

¹²⁷ Extraída de Bienvenida Gilberta López. 17 de diciembre de 2010. Tesis Doctoral NUEVAS METODOLOGÍAS BASADAS EN ESPECTROMETRÍAS DE MASAS PARA EL ANÁLISIS MULTIRRESIDUO DE PLAGUICIDAS Y OTROS CONTAMINANTES EN VEGETALES CON ALTO CONTENIDO GRASO Y EN PRODUCTOS ALIMENTICIOS DE ORIGEN VEGETAL. Recuperada de ruja.ujaen.es/bitstream/10953/339/1/9788484395836.pdf.

¹²⁸ Fuente de ionización. Dispositivo que convierte los componentes de la muestra en iones. Esto puede conseguirse por bombardeo con electrones, moléculas o fotones. Alternativamente, también puede lograrse la ionización mediante energía térmica o eléctrica. En muchos casos la fuente de ionización y el sistema de entrada están combinados en un único componente.

muestra y luego se ioniza. Las fuentes ionizantes más utilizadas en CG - EM se caracterizan por:

- Impacto electrónico. La muestra llega a la fuente en forma gaseosa, o se vaporiza en el lugar, si el análisis por espectrometría de masas se realiza en directo, y allí las moléculas se ionizan por el bombardeo de un haz de electrones de elevada energía, emitidos por un filamento caliente de wolframio¹²⁹ o de renio¹³⁰ y son acelerados mediante un potencial de 70 eV que se aplica entre el filamento y el ánodo.

Las trayectorias de los electrones y las moléculas están en ángulo recto y se cruzan en el centro de la fuente, donde se produce la colisión, dando lugar a la ionización, formando, en primera instancia, iones de una única carga positiva que tienen origen cuando los electrones de elevada energía se acercan lo suficiente a las moléculas como para causarles la pérdida de electrones por repulsión electrostática. Sin embargo, por tratarse de electrones con baja energía cinética, los aumentos energéticos de la misma al chocar con las moléculas son pequeños, de manera tal que, las moléculas adquieren estados rotacionales y vibracionales excitados.

Luego, la relajación ocurre por una elevada fragmentación que da lugar a un gran número de iones positivos de diversas masas que son menores (y en ocasiones mayores) que las de ion molecular.

Los espectros de masas que se obtienen en la ionización por impacto de electrones son útiles para la identificación de compuestos. Para determinado tipo de moléculas la fragmentación es un procedimiento altamente efectivo ya que no queda ningún ion molecular, lo cual impide la determinación de la masa molecular, en caso de tratarse de una molécula desconocida. Este tipo de fuente es solo aplicable a analitos con masas moleculares menores a 10^3 daltons y estables térmicamente, por ser necesaria la volatilización de la muestra, antes de llevar a cabo su ionización.

- Ionización química. Si bien el diseño de la fuente se asemeja a las de impacto electrónico, los electrones generados no chocan directamente con la muestra, sino con un gas reactivo. Las moléculas gaseosas de la muestra se ionizan al colisionar con los iones producidos como resultado del bombardeo con electrones a un exceso de gas reactivo.

Es necesario introducir un reactivo gaseoso en la región de ionización, manteniendo una presión de aproximadamente 1 torr, en una cantidad tal que la relación de concentración entre el reactivo y la muestra sea de $10^3 - 10^4$. El haz de electrones reacciona, prácticamente de manera exclusiva, con las moléculas de reactivo, por su elevada concentración. Los iones reactivos dan lugar a reacciones de transferencia de protones o de hidruros con las moléculas del analito, originando, respectivamente, iones moleculares protonados o deprotonados. Habitualmente se utilizan iones positivos, no obstante la ionización química que origina iones negativos se utiliza en aquellos analitos que contienen átomos muy electronegativos. Uno de los reactivos más frecuentes es el metano, sin embargo se han utilizado gases como el amoníaco, metilpropano y propano. Cada uno de ellos produce un espectro diferente con el

¹²⁹ Wolframio: filamento químico perteneciente a la serie de los metales de transición. Diccionario Real Academia Española. Página web: dle.rae.es.

¹³⁰ Renio. Elemento químico metálico, de número atómico 75, con propiedades similares al platino, raro en la corteza terrestre, donde se encuentra asociado a los minerales de molibdeno y platino, usado en la construcción de termopares, para fabricar contactos eléctricos y como catalizador. Diccionario Real Academia Española. Página web: dle.rae.es.

mismo analito. Luego, los espectros de ionización química son más sencillos que los espectros de impacto de electrones.

Analizadores de masas o de iones

Los iones, producidos en fase gaseosa, deben ser separados según su masa. Sin embargo, la propiedad física de los iones que evalúan los analizadores de masas es la relación masa – carga (m/z). Existen diferentes tipos de analizadores de masas, luego la separación de los iones en función de su relación masa - carga se basa en distintos principios.

Los analizadores de masas utilizan campos eléctricos y/o magnéticos que pueden ser estáticos o dinámicos. La forma en la que se utilizan los campos eléctricos y/o magnéticos es una de las diferencias entre los analizadores. Se trata de un parámetro que se define como la capacidad de distinguir entre dos iones cuya diferencia en su relación m/z , es mínima.

$$R = m/\Delta m$$

Donde Δm es la diferencia entre dos picos adyacentes que están resueltos, y m es la masa nominal del primer pico (a veces se utiliza en su lugar la masa media de los dos picos). Se considera que dos picos están separados si la altura del valle entre ellos no es mayor que una determinada fracción de su altura, a menudo un 10%. También es posible calcular el poder de resolución empleando un único pico, de forma que, bajo este criterio Δm es el ancho del pico a la mitad de su altura y m es el valor de m/z del vértice del pico.

Los analizadores de masas más utilizados en el acoplamiento CG – EM son los de cuadrupolo sencillo, trampa de iones cuadrupolar e instrumentos de doble enfoque (triple sector eléctricomagnético – eléctrico), aunque estos últimos no han sido muy empleados para el análisis de contaminantes atmosféricos provenientes del uso de herbicidas.

•Analizador de masas cuadrupolar (Q). Un cuadrupolo se compone de cuatro barras cilíndricas paralelas que actúan como electrodos. Las barras opuestas están conectadas eléctricamente, un par unido al polo positivo de una fuente variable de corriente continua y el otro par se une al terminal negativo. Asimismo, se aplican a cada par de barras, potenciales variables de corriente alterna de radiofrecuencia desfasadas 180 grados.

Con el objetivo de adquirir un espectro de masas, los iones se aceleran en el espacio originado entre las barras, mediante un potencial de 5 a 10 V. Mientras tanto, los valores de tensión de corriente continua y corriente alterna, incrementan a la par desde cero hasta un valor máximo, manteniendo constante su relación. El tiempo necesario para llevar a cabo un solo barrido es de unos milisegundos (<100 ms). En cualquier momento, todos los iones, excepto aquellos que tengan un determinado valor de m/z , inciden en las barras y se convierten en moléculas neutras. Por tanto, solo los iones cuyo valor de m/z esté dentro de un intervalo limitado alcanzaran al detector de forma que un cuadrupolo actúa como un filtro de masas. En general, los instrumentos cuadrupolares son de bajo costo y simple operación.

•Trampa de iones tridimensional o cuadrupolar ((Q) IT). Se trata de un dispositivo en el cual los iones en fase gaseosa están reclusos durante largos períodos de tiempo por la acción de campos eléctricos. El dispositivo está formado por un electrodo anular, o toroidal, y un par de electrodos colectores (uno de entrada y otro de salida). Al electrodo anular se le aplica un potencial de radiofrecuencia variable mientras que los dos

electrodos colectores se encuentran conectados a tierra. El haz de iones penetra a través de la rejilla del electrodo colector superior, quedando los iones en el electrodo anular. Se efectúa un barrido de radiofrecuencia creciente que provoca la desestabilización resonante de los iones, abandonando la cavidad anular secuencialmente a través de la rejilla del electrodo colector inferior, en un orden de m/z creciente. Los iones emitidos pasan seguidamente al detector.

Para corregir las desviaciones direccionales como las de energía de los iones que dejan la fuente, se emplean los espectrómetros de doble enfoque, los cuales combinan uno o varios analizadores electrostáticos (ESA) con un analizador magnético (B).

Detectores para espectrometría de masas

Una vez que los iones salen del analizador de masas, se dirigen hacia el detector. El detector registra la carga inducida o la corriente producida cuando un ion pasa cerca o golpea una superficie. Se distinguen diferentes tipos de detectores según el análisis y los compuestos a determinar. Los principales detectores utilizados en los cromatógrafos gaseosos son:

- Detectores de ionización de llama (FID). - Los compuestos orgánicos que han sido eluidos de la columna cromatográfica, se someten al proceso de combustión, en el cual se forman fragmentos iónicos y electrones libres, que son recolectados, produciendo una corriente eléctrica, proporcional a la velocidad con la que los componentes de la muestra penetran en la llama.
Los detectores de ionización de llama reaccionan favorablemente con compuestos orgánicos, no así con los compuestos inorgánicos, con excepción de aquellos que se ionizan con facilidad.
- Detectores de fotoionización (PID).- La corriente que producen los iones se mide a través del detector y es proporcional a la concentración y a la respuesta del material ionizado. Estos detectores se utilizan, especialmente, en el análisis de compuestos orgánicos, como hidrocarburos aromáticos e hidrocarburos insaturados.
- Detectores de captura de electrones (ECD).- Son detectores selectivos, utilizados, específicamente, en el análisis de compuestos organoclorados, nitrocompuestos y pesticidas.

Una vez separadas las sustancias, son fragmentadas y analizadas en función de su patrón de fragmentación, el cual puede ser comparado con información contenida en una base de datos de espectros de masas para su identificación preliminar. La identificación definitiva, así como la cuantificación de cada sustancia debe hacerse mediante el empleo de sustancias de referencia.

5.3.2.5. VARIABLES A CONSIDERAR

5.3.2.5.1. MONITOREO METEOROLÓGICO

El monitoreo de la calidad del aire debe estar acompañado por un monitoreo meteorológico, ya que las condiciones climáticas pueden afectar la concentración y variabilidad espacial y temporal de los contaminantes atmosféricos.

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos ha elaborado un conjunto de guías que explican en detalle el monitoreo meteorológico.

Por convención, la dirección del viento es la dirección que sopla desde un punto, y se determina tomando como referencia el norte verdadero y no el magnético. La unidad de medición seleccionada son los metros por segundo (m/s).

En relación con el monitoreo, existen recomendaciones para optimizar su desempeño, tales como:

- Monitoreo mínimo requerido:
 - Altura de la torre, donde se colocara el equipo de medición.
 - Velocidad y dirección del viento.
 - Temperatura del aire.
 - Fuente de alimentación del equipo (baterías adicionales).
- Mediciones requeridas:
 - Humedad relativa.
 - Radiación solar.
 - Precipitación.
 - Perfil de temperatura.
- Requerimientos de establecimiento definidos:
 - Distancias relacionadas con edificaciones, estructuras y árboles.
- Resolución de tiempo requerida:
 - Relacionado con la recolección de datos.
- Periodo de muestreo:
 - El periodo de tiempo según el modelo atmosférico y el tipo de análisis a realizar.

5.3.2.5.2. SELECCIÓN DE SITIOS DE MONITOREO

La elección del área a monitorear es una variable de gran importancia, razón por la cual es necesario determinar cuál es la ubicación que mejor representa las condiciones del aire que se pretende muestrear. Es posible realizar la selección a partir de la siguiente secuencia:

- Definir el objetivo del monitoreo.
- Analizar información histórica del lugar a monitorear.
- Identificar áreas potenciales para llevar a cabo el muestreo de contaminantes atmosféricos.
- Confeccionar una lista de verificación e inspección de los posibles lugares seleccionados para la medición.
- Evaluación y selección final del sitio.

5.3.2.5.3. EQUIPOS DE MEDICIÓN DE VARIABLES METEOROLÓGICAS

Se recomienda incluir una estación meteorológica en conjunto con los equipos de monitoreo de los contaminantes atmosféricos, con el objetivo de determinar cómo

influyen los cambios climáticos en la concentración y dispersión de los contaminantes a muestrear.

La estación meteorológica debe contar con determinados instrumentos que puedan llevar a cabo las mediciones de:

- Velocidad y dirección del viento.
- Humedad relativa.
- Temperatura.
- Precipitación.
- Radiación solar.
- Presión barométrica.
- Radiación ultravioleta.

Los valores de los parámetros meteorológicos medidos pueden almacenarse en el mismo sistema de monitoreo aéreo o en un dispositivo aparte.

5.3.2.6. PROCEDIMIENTOS HABITUALES

De los medidores de la calidad del aire activos del tipo impactadores de partículas el más utilizado, en la actualidad, es el medidor de la calidad del aire de alto volumen.

En lo que respecta a los medidores de la calidad del aire activos de gases o burbujeadores acidimétricos¹³¹ para el dióxido de azufre, el método de filtración para partículas suspendidas totales (PST) de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos¹³², OECD, por sus siglas en Inglés, el método gravimétrico de altos volúmenes y el de partículas totales y fracción respirable de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, USEPA, por sus siglas en Inglés, constituyen los métodos más utilizados en la actualidad. Asimismo existen técnicas de muestreos activos disponibles para la mayoría de los contaminantes gaseosos, como el método de Gries-Saltzman para dióxido de nitrógeno y el método NBKI (Neutral Buffered Potassium Iodide, por sus siglas en inglés o Solución Amortiguadora Neutra de Yoduro de Potasio) para ozono. Sin embargo, la mayoría de estas técnicas han sido reemplazadas por analizadores automáticos.

Para el monitoreo y análisis de aerosoles, en especial los secundarios y gases ácidos se emplean filtros empacados y sistemas “Denuder”.

5.3.2.7. EQUIPOS COMERCIALIZADOS

- Medidor de Calidad del Aire E4100

La estación E4100 lleva a cabo la medición de contaminantes y la calidad del aire ambiental en zonas urbanas y entornos industriales.

Permite integrar cuatro de los contaminantes más comunes, tales como dióxido de nitrógeno, monóxido de nitrógeno, monóxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, compuestos orgánicos volátiles y ozono.

¹³¹ Acidimetría. Procedimiento analítico para determinar la acidez de un líquido. Diccionario Real Academia. Página web: dle.rae.es.

¹³² <https://www.oecd.org/>.

Se aplica en:

- Monitorización de fuentes y focos de emisión de contaminantes.
- Aplicaciones investigación.
- Control de emisiones en entornos industriales.
- Redes de calidad del aire con energía solar.

Equipos comercializados por SENSOVANT, empresa localizada en la ciudad de Valencia, España.

Contacto: <http://sensovant.com/>

- Estación de Monitorización Ambiental SVT – EMA

El equipo está integrado por sensores orientados de manera específica para la monitorización de parámetros ambientales, tales como Material Particulado: Pm2.5, Pm10 y gases contaminantes: dióxido de azufre, monóxido de nitrógeno, dióxido de nitrógeno, ozono, monóxido de carbono, ruido y contaminación sonora, y factores climatológicos como índice de radiación ultravioleta, temperatura y humedad, entre otros.

Equipos comercializados por SENSOVANT, empresa localizada en la ciudad de Valencia, España.

Contacto: <http://sensovant.com/productos/meteorologia/estaciones-meteorologicas/gases-contaminantes/articulo/estacion-monitorizacion-ambiental-SVT-EMA.html>

5.4. MEDICIÓN DE VELOCIDAD DE AIRE

5.4.1. CONCEPTO Y CARACTERÍSTICAS DE LA VELOCIDAD

El aire es una mezcla de 78% de nitrógeno, 21% de oxígeno, vapor de agua y pequeñas fracciones de los otros gases, como argón, dióxido de carbono, hidrógeno, entre otros.

Una sola molécula de gas con una masa m [kg] puede entrar en movimiento y adquirir energía cinética.

$$E_k = \frac{1}{2} * m * v^2$$

La distancia recorrida de una molécula por una unidad de tiempo define su velocidad v . Luego, la “velocidad del aire” puede definirse por el valor de velocidad media de las N moléculas, es decir:

$$\bar{v} [m/s] = \frac{1}{N} * (\bar{v}_1 + \bar{v}_2 + \dots + \bar{v}_N)$$

Cuando un flujo de aire circula en una tubería, la velocidad del aire en el interior no es uniforme en el espacio, disminuyendo parabólicamente desde el eje central del tubo hacia las paredes. Las moléculas se adhieren a las paredes del tubo debido a la fricción, dando lugar a una propiedad física conocida como viscosidad μ [Kg/ (ms)].

En muchas aplicaciones, el cálculo de la velocidad es, solamente, una etapa en el procedimiento para obtener el flujo de masa de aire dm/dt [kg/ (m².s)], es decir, la cantidad de masa transferida por unidad de tiempo, en un área determinada A [m²].

$$\frac{1}{A} * \frac{dm}{dt} = \rho * v$$

Luego, el flujo de masa de aire es el producto de la densidad del aire ρ [Kg/m³] por la velocidad del aire v [m/s]. Asimismo, a igual velocidad pero con diferentes densidades, los flujos de masa son distintos.

Por otro lado, a velocidades lo suficientemente bajas, un flujo libre o un flujo en una turbina es regular, es decir, se trata de un “régimen laminar”, lo que significa que todas las moléculas siguen la misma dirección en paralelo. Sin embargo, a máximas velocidades, su movimiento se vuelve irregular, se entremezclan y forman remolinos que no son estables en el tiempo y espacio, y no son predecibles, se trata de un “régimen turbulento”.

El flujo de aire turbulento en un tubo, presenta un perfil de velocidades plano, es decir, la velocidad no varía en gran medida desde el centro hacia la pared del tubo como en el régimen laminar. Luego, la velocidad a la que se produce la transición de régimen laminar a turbulento está influenciada por el diámetro d [m] del tubo, la densidad δ [Kg/m³] y la viscosidad μ [Kg/m.s] del fluido, lo cual se denomina “número de Reynolds” (Re), que expresa la relación entre la fuerza inercial (de conducción) y la fuerza viscosa (fricción).

$$Re = \frac{d * v * \rho}{\eta}$$

5.4.2. MÉTODOS DE MEDICIÓN

5.4.2.1. MEDIDOR DE PRESIÓN DIFERENCIAL

El principio de funcionamiento de los caudalímetros medidores de presión diferencial se basa en la ecuación de Bernoulli, la cual establece que la sumatoria de la energía cinética, la energía potencial de altura y la energía potencial debido a la presión que presenta un fluido permanece constante.

Es posible establecer una relación entre la velocidad circulante y la diferencia de presión que se produce. De manera que, al medir la diferencia de presión, se determina la velocidad. Luego, del producto de la misma por el área de la cañería, se obtiene el caudal volumétrico.

Estos medidores se caracterizan por:

- Sencillez de construcción, no incluye partes móviles.
- Su costo no es elevado, en comparación con otros medidores.
- Pueden utilizarse para la mayoría de los fluidos.

Sin embargo, presenta desventajas tales como

- La amplitud del campo de medición es menor en comparación con otros tipos de medidores.
- Pérdidas de carga significativas.
- La señal de salida no es lineal con el caudal.

Los medidores de presión diferencial incluyen a: placa de orificio, tobera, tubo Venturi, tubo de Pitot, tubo de Annubar, codo y medidor de área variable.

5.4.2.1.1. PLACA DE ORIFICIO

La placa de orificio es una placa perforada que se instala en la tubería. La variación de área que se genera al colocar la placa, provoca un estrangulamiento de la sección, dando lugar a un cambio de presiones previas a la aplicación de la placa y posterior a la misma, cuyo valor establece el caudal en la sección.

5.4.2.1.2. TOBERA

La tobera presenta una entrada curvada, que se prolonga en un cuello cilíndrico. Al igual que la placa de orificio, transforma la energía potencial de un fluido en energía cinética, a partir de la medición de la presión diferencial.

5.4.2.1.3. TUBO VENTURI

El principio de funcionamiento del tubo Venturi se basa en el efecto Venturi, que consiste en que un fluido en movimiento dentro de un conducto cerrado disminuye su presión al aumentar la velocidad, después de pasar por una zona de menor sección.

Se produce un estrangulamiento en la sección transversal de la tubería, modificando las presiones, de esta manera se calcula el caudal que circula por la sección.

5.4.2.1.4. TUBO DE PITOT

El tubo de Pitot es un instrumento de medición de económico, fácil aplicación y disponible en una gran variedad de tamaños. Consiste en un tubo con la entrada orientada en contra del sentido de la corriente del fluido.

El tubo de Pitot mide directamente la velocidad del flujo en el punto donde se toma el valor de la presión estática y de estancamiento. Cabe destacar que, para lograr mayor precisión en los resultados obtenidos, es necesario medir en varios lugares de la sección.

5.4.2.1.5. TUBO DE ANNUBAR

Es una variante del método de medición utilizado en el tubo de Pitot.

En un tubo Annubar, se distingue un tubo exterior, situado a lo largo de un diámetro transversal de la tubería, y dos tubos interiores.

De los dos tubos que se encuentran en su interior, uno mide la presión total, mientras que el otro tubo, que se encuentra en la parte posterior, mide la presión estática.

El tubo Annubar se caracteriza por alcanzar una mayor precisión que el tubo de Pitot, así como una baja pérdida de carga.

5.4.2.1.6. CODO

Cuando un fluido circula por el codo de una tubería, está sujeto a una aceleración angular, debido a la fuerza centrífuga presente en la curva, el cuadrado de la diferencia de presiones se relaciona con el caudal.

5.4.2.2. MEDIDOR DE ÁREA VARIABLE

Un medidor de área variable presenta un principio de funcionamiento basado en un flotador que cambia de posición dentro de un tubo de área variable. El área del tubo es pequeña en la parte inferior, y va aumentando hasta alcanzar la mayor sección en la parte superior.

5.4.2.3. MEDIDOR DE TURBINA

Un medidor de turbina presenta un principio de funcionamiento basado en la energía mecánica del líquido, necesaria para provocar el giro del rotor. De esta manera, la velocidad angular del giro es directamente proporcional al flujo.

Los caudalímetros a turbina no son aptos en mediciones de productos viscosos ni con arrastre de sólidos.

Estos medidores se caracterizan por: una elevada precisión en las mediciones y un costo intermedio, en comparación con otros medidores. Sin embargo, presenta desventajas tales como caídas de presión y la posibilidad de sufrir desgastes en sus componentes.

5.4.2.4. MEDIDOR DE CAUDAL ELECTROMAGNÉTICO

El medidor de caudal electromagnético presenta un principio de medición basado en la Ley de Faraday, la cual explica que en un conductor en movimiento, con un campo magnético constante, se induce un voltaje proporcional a la velocidad del movimiento y longitud del conductor.

Estos medidores se caracterizan por presentar una elevada precisión y no generar pérdidas de carga.

Sin embargo, presentan desventajas tales como la baja conductividad, razón por la cual no se utilizan en mediciones de gases, y un costo inicial relativamente elevado, en comparación con otros medidores.

5.4.2.5. MEDIDOR ULTRASÓNICO

Los caudalímetros por ultrasonido están basados en la propagación de ondas de sonido en un fluido. Existen dos principios básicos para llevar a cabo la medición: Tiempo de Tránsito y Efecto Doppler.

Estos medidores se caracterizan por evitar la pérdida de carga, no presentar partes móviles y la capacidad de medir fluidos sucios, con excepción del Ultrasonido Doppler.

Sin embargo, presenta desventajas relacionadas con su elevado costo y limitaciones en la medición relacionadas con la viscosidad del fluido.

5.4.2.5.1. MEDIDOR ULTRASÓNICO POR IMPULSOS

Los medidores ultrasónicos modulados por impulsos (Tiempo de Tránsito) alcanzan la mayor precisión y se utilizan, preferentemente, con líquidos limpios, aunque algunos tipos permiten medidas de líquidos que pueden contener partículas y gas.

La velocidad de flujo se determina de la diferencia entre la velocidad de propagación de una onda de sonido a favor y otra en contra del flujo.

5.4.2.5.2. MEDIDOR ULTRASÓNICO POR EFECTO DOPPLER

Los medidores ultrasónicos de tipo Doppler se basan en el concepto de que la variación de frecuencia del sonido reflejado será proporcional a la velocidad de las partículas, de esta manera, al medir el corrimiento de frecuencia se puede determinar la velocidad del fluido, y por lo tanto el caudal instantáneo.

El instrumento de efecto Doppler presenta un generador de ultrasonido que emite ondas.

5.4.2.6. MEDIDOR DE FLUJO MÁSIICO

Los caudalímetros másicos miden la masa que circula por unidad de tiempo.

Los caudalímetros másico más utilizados son aquellos cuyo principio de funcionamiento es por Efecto Coriolis, y por Efecto Térmico.

5.4.2.6.1. MEDIDOR DE FLUJO MÁSIICO POR EFECTO CORIOLIS

El principio de funcionamiento de un medidor de flujo másico por efecto Coriolis, se basa en el principio de las fuerzas inerciales que se generan cuando un objeto se mueve en forma radial sobre un disco de rotación. A medida que el cuerpo de masa “m” se mueve sobre un disco que gira desde el centro hacia el borde en forma radial, incrementa su velocidad tangencial. Lo cual implica que existe una aceleración que produce sobre la masa, una fuerza conocida como Fuerza de Coriolis. Este caudalímetro se compone de uno o dos tubos que vibran, en los cuales se producen fuerzas de diferentes sentidos, ocasionando una deformación proporcional al flujo másico.

Un caudalímetro por efecto Coriolis permite medir directamente la masa y densidad.

5.4.2.6.2. MEDIDOR DE FLUJO MÁSIICO POR EFECTO TÉRMICO

En los caudalímetros Másicos Térmicos su funcionamiento depende de la dispersión del calor formado por el flujo de corriente eléctrica a través de una resistencia.

El aire que fluye por el conducto enfría al sensor térmico. La electrónica del caudalímetro al detectar el descenso de temperatura del sensor, intenta que éste recupere su temperatura inicial, mediante el suministro de una corriente eléctrica, determina un valor de referencia para conocer la cantidad de aire que circula.

Una segunda resistencia proporciona la temperatura de referencia del fluido. Luego, la diferencia de temperatura es un indicador de la cantidad de flujo másico que está circulando.

5.4.3. MEDIDOR DE FLUJO MÁSIKO POR EFECTO TÉRMICO

5.4.3.1. CARACTERÍSTICAS

Un dispositivo medidor de flujo másico por efecto térmico, está basado en la dispersión del calor generado por el flujo de corriente eléctrica a través de una resistencia. La cantidad de calor absorbido por el fluido depende de su flujo másico.

Para medir se coloca una resistencia en el seno del fluido, y se hace circular una corriente eléctrica, lo cual produce calor. Pueden ocurrir dos situaciones:

- Si no circula fluido, habrá una determinada dispersión, que genera que la resistencia alcance una temperatura específica.
- Si el fluido comienza a circular, el sensor de temperatura caliente se enfría, disminuyendo la temperatura de la resistencia. Por lo tanto, a mayor velocidad de caudal, mayor es el efecto de enfriamiento.

Una segunda resistencia mide la temperatura de referencia del fluido. Luego, si se mantiene constante la corriente eléctrica que circula por el elemento conductor, la relación entre la temperatura (resistencia eléctrica) y el caudal es directamente proporcional.

Estos medidores de flujo másico por efecto térmico se caracterizan por:

- Presentan una amplia variación en los rangos de medición, en comparación con medidores de presión diferencial.
- No presentan partes móviles.
- Pérdidas de carga despreciables.
- Respuesta rápida frente a variaciones en el flujo.

Sin embargo, existen desventajas, tales como:

- Se requiere de mantenimiento regular en el caso de medir fluidos contaminados: sólidos en suspensión.
- Requieren de calibración previa al uso.
- Cambios bruscos de temperatura pueden alterar la medición.

5.4.3.2. CLASIFICACIÓN

Los medidores de flujo másico por efecto térmico se clasifican en:

- Película caliente.
- Hilo caliente.

5.4.3.3. METODOLOGÍA DE MEDICIÓN

5.4.3.3.1. PELÍCULA CALIENTE

El medidor de flujo másico por efecto térmico de película caliente, contiene una membrana o película, la cual incrementa su temperatura mediante una resistencia alimentada eléctricamente.

Las variaciones de temperatura sobre la membrana son registradas por dos resistencias, cuyos valores cambian en función de la temperatura. Las mismas se montan

simétricamente con respecto a la resistencia que modifica la temperatura de la membrana. Fuera de la zona de membrana la temperatura disminuye.

Cuando el flujo de aire circula sobre la membrana, la distribución de la temperatura sobre la misma cambia, dando lugar, a variaciones en la resistencia que es alimentada eléctricamente.

El calor cedido al aire, seguido de la caída de temperatura en la resistencia, que es alimentada por corriente eléctrica, depende de la masa de aire que circula.

5.4.3.3.2. HILO CALIENTE

El medidor de flujo másico por efecto térmico de hilo caliente, contiene en su interior, en el lugar de paso de la corriente de aire, un alambre de platino calentado eléctricamente, el cual forma parte de un circuito de Puente de Wheatstone. Luego, al circular aire a través del alambre, tiende a enfriarlo, alterando así su resistencia eléctrica. Un amplificador electrónico detecta estas variaciones en la resistencia y regula la corriente eléctrica necesaria para que el alambre recupere y mantenga su temperatura original.

De esta manera, la corriente eléctrica requerida es directamente proporcional a la masa de aire que está circulando por el medidor.

Cabe destacar que, en el medidor de flujo másico por efecto térmico de película caliente, como de hilo caliente, la variación en los valores resistivos, necesaria para que el alambre o la membrana recuperen y mantengan su temperatura original, que se traduce en corriente eléctrica, es convertida en una señal analógica que varía entre 0V y 5V. La cual, mediante el uso de un microcontrolador, se transforma en un valor de flujo de masa de aire.

VI. DESARROLLO

6.1.INTRODUCCIÓN

6.2.SITUACIÓN INICIAL

6.2.1. PLANTEO DEL PROBLEMA A RESOLVER

6.3.PROPUESTAS Y SELECCIÓN

6.3.1. OPCIONES DE MOTORES - SELECCIÓN Y JUSTIFICACIÓN

6.3.2. OPCIONES DE MEDIDORES DE FLUJO DE MASA DE AIRE - SELECCIÓN Y JUSTIFICACIÓN

6.3.3. OPCIONES DE MICROCONTROLADORES Y PLATAFORMAS MICROCONTROLADORAS - SELECCIÓN Y JUSTIFICACIÓN

6.3.4. OPCIONES DE FUENTES DE ALIMENTACION -SELECCIÓN Y JUSTIFICACIÓN

6.4.DISEÑO DEL PROTOTIPO

6.4.1. DIAGRAMA EN BLOQUE DEL PROTOTIPO

6.4.1.1.CARCASA

6.4.1.1.1. DISEÑO DE TOBERA CONVERGENTE - DIVERGENTE

6.4.1.1.2. LIMITACIONES EN EL DISEÑO

6.4.1.1.3. IMPRESIÓN 3D

6.4.1.2.MEDIDOR DE VELOCIDAD Y TEMPERATURA

6.4.1.2.1. PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD Y TEMPERATURA LA PARA EL CALCULO DE CAUDAL

6.4.1.3.GENERADOR DE FLUJO

6.4.1.3.1. GENERALIDADES DEL MOTOR

6.4.1.3.2. MOTOR ELÉCTRICO

6.4.1.3.3. CLASIFICACIÓN DE LOS MOTORES BRUSHLESS

6.4.1.3.4. FUNCIONAMIENTO DE LOS MOTORES BRUSHLESS

6.4.1.3.5. SEÑAL POR MODULACIÓN POR ANCHO DE PULSO

6.4.1.3.6. INTERPRETACIÓN DE LA NOMECLATURA DE LOS MOTORES BRUSHLESS

6.4.1.3.7. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS MOTORES BRUSHLESS

6.4.1.4.VARIADOR ELECTRÓNICO DE VELOCIDAD

6.4.1.4.1. FACTORES A CONSIDERAR PARA LA SELECCIÓN DE UN VARIADOR ELECTRÓNICO DE VELOCIDAD

6.4.1.5.MICROCONTROLADOR

6.4.1.5.1. PROGRAMA ARDUINO

6.4.1.6.INTERFAZ DE USUARIO

6.4.1.6.1. TECLADO

6.4.1.6.2. DISPLAY LCD

6.4.1.7.FUENTE DE ALIMENTACIÓN

6.4.1.7.1. BATERÍA LIPO

6.4.1.7.2. BATERÍA 9V

6.4.1.8.CONVERSION DC-DC BOOST

6.5.PUESTA EN MARCHA

6.6.MEDICIONES

6.6.1. CARACTERIZACIÓN DE LA CURVA (MEDICIÓN SIN MATERIAL ADSORBENTE)

6.6.2. MEDICIONES CON CARGA (MATERIAL ADSORBENTE)

6.6.2.1.TUBOS ADSORBENTES

6.6.2.2.CARBÓN ACTIVADO

6.7.RESULTADOS

6.1. INTRODUCCIÓN

En esta sección se explican las etapas ejecutadas para llevar a cabo el desarrollo de un prototipo que permitirá a posteriori, mediante un análisis cualitativo de la muestra obtenida, evaluar la calidad del aire de un área determinada en función de la detección de contaminantes atmosféricos de muy baja concentración, relacionados con las actividades agrícolas.

Se inicia con el análisis del equipamiento con el cual, actualmente, se procede al monitoreo atmosférico de la calidad de aire, a fin de conocer la metodología a aplicar en la detección de diversos contaminantes atmosféricos, en especial los relacionados con los cultivos de vid en la zona del Valle de Calamuchita, situado en la provincia de Córdoba, Argentina (*Figura 6.1.*); a partir de la medición de parámetros, tales como caudal de masa de aire y temperatura ambiental, entre otras variables.

Posteriormente, se detalla la propuesta del desarrollo del hardware como el software de un prototipo medidor de la calidad del aire para determinar la posible presencia de agentes contaminantes, relacionados con herbicidas utilizados en aplicaciones agropecuarias, empleando componentes de diferentes aplicaciones y proveedores, integrándolos, permitiendo el funcionamiento como un conjunto.

Al completar la evaluación y selección de los componentes propuestos, para realizar la medición del caudal de masa de aire y la temperatura ambiente, se procede al diseño y construcción del prototipo medidor de la calidad del aire, considerando las características del flujo de aire, condiciones atmosféricas, posibles agentes contaminantes a detectar, agentes de retención a utilizar en el monitoreo aéreo y, no menos importante, las tecnologías seleccionadas para efectuar la medición de los parámetros seleccionados.

A posteriori, se esboza el diseño del captador, que luego se elabora, en función del material adsorbente escogido para la detección de los probables contaminantes atmosféricos que es posible encontrar en los cultivos de vid en el Valle de Calamuchita.

Finalizada la construcción del prototipo medidor de la calidad del aire y los captadores de los agentes contaminantes, se procede a la caracterización de las curvas de medición, del flujo de masa de aire y la temperatura, del volumen de aire que circula forzosamente por el prototipo medidor de la calidad del aire.

Las mediciones se llevan a cabo con el equipo funcionando sin carga, sin la presencia del captador con el material adsorbente, y con carga, para la posterior evaluación cualitativa del material adsorbente, en el cual han impactado los contaminantes atmosféricos presentes en el momento de la medición. Es decir, comprobar la posible presencia de los agentes contaminantes.

Con la implementación de este prototipo medidor de la calidad del aire se pretende reducir el tiempo de monitoreo de la calidad del aire para la detección de contaminantes atmosféricos, según el área a muestrear, en comparación con los equipos que se utilizan en la actualidad, considerando que se trata de un dispositivo cuyo diseño y desarrollo del hardware como del software se ha llevado a cabo con componentes de diferentes áreas de aplicación, las cuales no tienen relación directa con el monitoreo aéreo. Cabe destacar que la reducción del tiempo de monitoreo aéreo implica incrementar el caudal de flujo de masa de aire que circulará por la zona de la garganta de la tobera que forma parte del prototipo medidor de la calidad del aire.

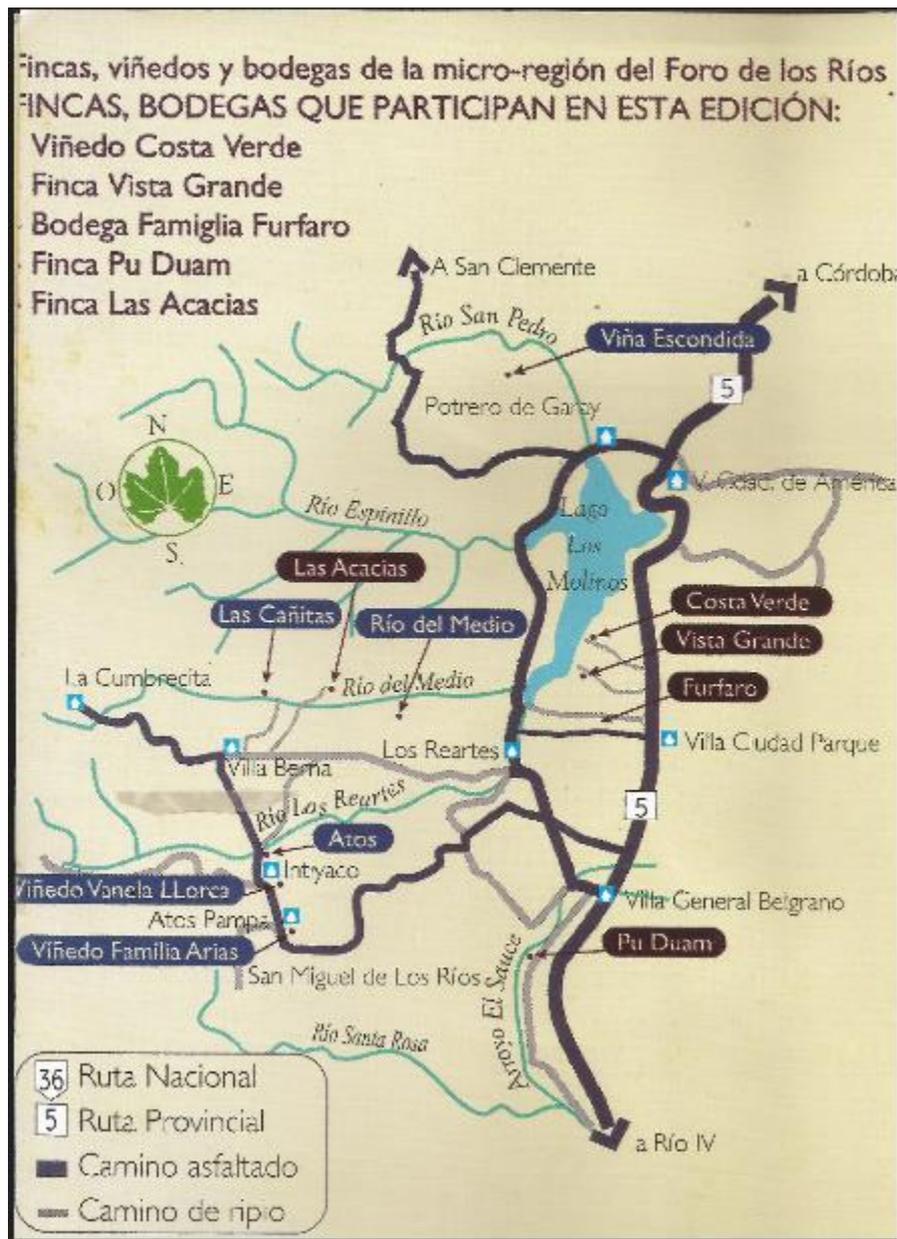


Figura 6. 1. Mapa con la localización de Fincas, Viñedos y Bodegas en el Valle de Santa Rosa de Calamuchita, Córdoba, Argentina.

6.2. SITUACIÓN INICIAL

6.2.1. PLANTEO DEL PROBLEMA A RESOLVER

El desarrollo de un prototipo medidor de la calidad del aire para medir contaminantes atmosféricos en aplicaciones agropecuarias, más precisamente, en cultivos de vid en el Valle de Calamuchita, implica la planificación y ejecución de un recinto de forma específica, por el cual circula forzosamente un flujo de aire, y en cuyo interior, se encuentra un captador con un elemento de retención que se determina según el agente contaminante a detectar durante el monitoreo aéreo.

Luego, para llevar a cabo la detección cualitativa de posibles herbicidas aplicados en los cultivos de vid, es necesario realizar la medición de parámetros relacionados directamente con la calidad del aire, tales como el caudal de flujo de masa de aire y la temperatura ambiente.

Para especificar el flujo de masa de aire es necesario determinar el caudal de aire que circula por la sección que contiene el material adsorbente o garganta, donde impactan los contaminantes atmosféricos, del prototipo.

De lo expuesto anteriormente, surgen cuáles serán las variables a medir durante el funcionamiento del prototipo de medición. De esta manera, los parámetros a medir son el caudal de flujo de masa de aire y la temperatura ambiente.

Posteriormente, se recogen las muestras con el material adsorbente, donde ha impactado posiblemente el contaminante, y son enviadas al laboratorio para su análisis cualitativo, es decir determinar la presencia de los contaminantes atmosféricos en relación con los herbicidas utilizados en cultivos de vid.

Resulta importante destacar que en la actualidad las mediciones de la calidad del aire se llevan a cabo mediante equipos que se encuentran instalados en estaciones de monitoreo aéreo en una zona específica, como así también equipos que se colocan, por un período determinado, en un área determinada para el muestreo.

El método empleado para el monitoreo aéreo es el método Activo, el cual recoge muestras durante un periodo de 24 horas, las cuales, posteriormente, serán analizadas en un laboratorio.

El presente trabajo plantea como uno de sus objetivos reducir el período de captación de muestra mediante un forzador de una corriente de aire que circula por el interior de la tobera, específicamente por la zona de la garganta, donde se encuentra el filtro con el material adsorbente. De esta manera, al disminuir el tiempo de monitoreo de 24 horas a una hora resulta necesario incrementar el caudal de flujo de masa de aire que circula por la tobera.

6.3. PROPUESTAS Y SELECCIÓN

Para llevar a cabo el diseño y construcción del hardware y software del prototipo medidor de la calidad del aire, el cual permite realizar el monitoreo aéreo de contaminantes atmosféricos de muy baja concentración, en especial, aquellos relacionados con los cultivos de vid, es necesario evaluar las diferentes propuestas en relación con las tecnologías a utilizar en la construcción del mismo.

Por consiguiente se analizan las alternativas en relación a los componentes a utilizar en la elaboración del dispositivo de medición, tales como:

- Alternativas relacionadas con los tipos de motores disponibles,
- Opciones de medidores de flujo de masa de aire,
- Variedad de microcontroladores a utilizar,
- Posibles fuentes de alimentación para energizar el dispositivo,

Posteriormente, se procede al armado y puesta en marcha del dispositivo para evaluar el funcionamiento del mismo.

Cabe destacar que el diseño y el dimensionamiento del prototipo constituyen una de las etapas principales del proyecto, puesto que la forma, así como las medidas, de cada una de las secciones que componen el dispositivo medidor de la calidad del aire, están realizadas según especificaciones físicas, como el tipo de flujo de aire a circular por el dispositivo, la velocidad del aire necesaria para alcanzar el caudal de aire necesario para el monitoreo, del orden de las cienmilésimas de m^3/min , en un periodo de tiempo breve, minutos o una hora. Asimismo, especificaciones relacionadas con limitaciones en cuanto al diseño debido a la escasa disponibilidad de determinadas tecnologías.

6.3.1. OPCIONES DE MOTORES - SELECCIÓN Y JUSTIFICACIÓN

La elección del motor eléctrico más conveniente para generar el flujo de aire que va a circular forzosamente por el prototipo medidor de la calidad del aire es consecuencia de la evaluación de las características de cada uno de los posibles motores a emplear.

Para llevar a cabo la selección de un motor eléctrico, es necesario evaluar determinadas especificaciones, tales como:

- Potencia Nominal

La potencia nominal es la potencia que debe suministrar el motor, sin que la temperatura dañe los materiales aislantes del motor por sobrecarga, para ello es necesario conocer los valores de velocidad de rotación como así también el valor del torque del motor.

- Velocidad de rotación del motor

Con el valor de la velocidad de rotación del motor y el valor del torque, fuerza con la que el motor puede mantenerse en un paso, es posible obtener el valor de la potencia que requiere la máquina para llevar a cabo el pequeño accionamiento. Según la velocidad de rotación, el motor se clasifica en motores síncronos o motores asíncronos.

- Tipo de arranque del motor

En el momento de arranque el motor precisa de una corriente mayor a la nominal para pasar del estado de reposo a la velocidad de régimen. Luego, el motor presenta diferentes tipos de arranques: directo, estrella – triangulo, por autotransformador, arranque electrónico suave, o variador electrónico de velocidad o variador electrónico de frecuencia.

- Ciclos de trabajo

Están directamente relacionados con la potencia que precisa la aplicación. Por ello, es necesario definir si se trata de un servicio continuo, donde la carga se mantiene constante durante un periodo de funcionamiento largo y suficiente para alcanzar una temperatura estable, un servicio continuo inestable, donde los periodos de funcionamiento son largos, sin embargo el régimen de carga varía, un servicio intermitente, donde existen tiempos de trabajo y tiempos de reposo, sin conexión a la red eléctrica, o un servicio donde el motor funciona durante una hora a un régimen constantes y superior al servicio continuo.

- Relación entre el eje del motor y el eje de salida de la reductora.

Existen tres tipos de posiciones: posición vertical, posición horizontal y aplicación especial.

- Par motor o torque

Es una magnitud física que mide el momento de fuerza que se ha de aplicar a un eje que gira sobre sí mismo a una determinada velocidad.

- Corriente máxima de rendimiento o intensidad nominal.

Es el máximo valor de corriente capaz de circular de manera continua por el motor. Se mide en amperios (A).

- Índice de protección del motor.

El código IP indica el grado de protección de sus materiales, contra la entrada de polvo o fibras, el contacto accidental y la penetración de líquidos.

- Condiciones ambientales de funcionamiento.
- Condiciones de altas o bajas temperaturas, ensayos de corrosión, humedad, condiciones ambientales adversas.

Existen diferentes variedades de motores eléctricos disponibles:

- Motores universales

Se utilizan, generalmente, en máquinas que requieren elevada velocidad con cargas de potencia débiles. No se utilizan en aplicaciones de uso continuo porque su diseño no soporta grandes periodos de actividad. Asimismo, son bastante ruidosos.

- Motores de corriente alterna

Se trata de la alternativa más económica y usada de los motores. Es posible distinguir dos tipos de motores: Motores monofásicos y motores trifásicos.

Los motores monofásicos se alimentan con una corriente monofásica de 230V. Se utilizan cuando se necesitan potencias pequeñas (menores de 3kW). Carecen de arrancador. Existen dos tipos:

- Síncronos: funcionan con una velocidad siempre fija aunque varíe la carga.
- Asíncronos: sufren pequeñas variaciones de velocidad si aumenta el par motor o torque.

Los motores trifásicos se alimentan con corriente trifásica 430V. Se utilizan generalmente en aplicaciones industriales. Se diferencian de los monofásicos en que se pueden poner en marcha sin arrancador.

- Motores de corriente continua

Permiten un mayor control sobre la velocidad, ya que puede ajustarse aplicando una resistencia variable en el inductor, sin embargo tienden a sufrir mayor desgaste que los motores de corriente alterna. Además, permiten cambiar el sentido de rotación invirtiendo la polaridad.

Existen dos tipos de motores: motores con escobillas o motores sin escobillas o brushless. Los motores con escobillas tienen un costo menor y no es necesario un control electrónico para su funcionamiento. Sin embargo, presentan una mayor pérdida de calor, lo cual genera mayor desperdicio de potencia, por lo tanto es menos eficiente.

Presenta una relación velocidad – par motor moderado, ya que un incremento en la velocidad provoca mayor fricción, disminuyendo el par motor. Además, la relación potencia de salida – tamaño del motor es menor, lo cual genera menor rendimiento.

Por su parte, en los motores brushless su funcionamiento se basa en las fuerzas de atracción y repulsión establecidas entre un imán y un hilo (bobina) por donde circula una corriente eléctrica. A igual potencia que los motores con escobillas su tamaño y peso son más reducidos, con un par de giro elevado y, según el tipo de motor, prácticamente constante.

Su rendimiento es muy elevado (típicamente en torno al 80% aumentando el mismo a medida que se incrementa la potencia de la maquina).

Su alimentación es a base de baterías, lo cual contribuye a la preservación del medio ambiente. La relación entre velocidad y par motor es buena. Por otro lado, al utilizar motores de corriente continua, la falta de precisión en el arranque y parada del motor suele ser un problema importante. Existen motores con excitación independiente, conocidos como motor paso a paso, motores sin escobillas cuya alimentación del inductor se realiza a partir de una fuente de alimentación externa, por lo que modificando la corriente de excitación con un controlador es posible variar su velocidad. La velocidad máxima que puede alcanzar dependerá de la tensión del controlador al motor. Si la tensión es mayor, el motor paso a paso ofrecerá más par en la misma velocidad y podrá acelerar aún más que un motor con un controlador de baja tensión. Estos dispositivos electromagnéticos, incrementales o rotativos, convierten pulsos digitales en movimiento de rotación mecánica. La proporción de la rotación es proporcional al número de pulsos generados, mientras que la velocidad de rotación se relaciona con la frecuencia de esos pulsos. Los impulsos se definen por un ángulo predeterminado que es alimentado por un dispositivo programable. Luego, esta solución es idónea siempre y cuando la inercia del sistema sea reducida, es decir que el tiempo de aceleración y desaceleración no sea largo.

Son dispositivos confiables y duraderos, ya que no existe contacto de escobillas.

Evaluada las alternativas en relación con los motores a utilizar en la construcción del prototipo medidor de la calidad del aire y, además de considerar las ventajas y desventajas en el uso de cada uno de ellos, se decidió utilizar un motor eléctrico brushless

o motor eléctrico sin escobillas para generar el flujo de aire forzado necesario para llevar a cabo el monitoreo aéreo de contaminantes atmosféricos. Se escogió este tipo de motor pues presenta numerosas ventajas en comparación con las demás opciones, tales como, el tamaño del motor eléctrico, la robustez del mismo, rendimiento y capacidad de generar un gran flujo de masa de aire en un período de tiempo breve.

6.3.2. OPCIONES MEDIDORES DE FLUJO DE MASA DE AIRE - SELECCIÓN Y JUSTIFICACIÓN

La elección del medidor de flujo de masa de aire más conveniente para efectuar la medición del caudal de aire y la temperatura del aire que va a circular forzadamente por el prototipo medidor de la calidad del aire es resultado de la evaluación de las características de cada uno de los posibles caudalímetros o medidores de caudal a emplear.

Una vez determinado los parámetros a medir durante el monitoreo aéreo: caudal de masa de aire y temperatura ambiente; y el tipo de contaminantes atmosféricos, presentes en aplicaciones agropecuarias, a detectar: compuestos orgánicos volátiles y compuestos inorgánicos, se procede a evaluar los tipos de caudalímetros a utilizar durante el muestreo del aire:

- Caudalímetros medidores de presión diferencial

Su principio de funcionamiento se basa en la ecuación de Bernoulli, en la cual la sumatoria de la energía cinética, la energía potencial debido a la altura y la energía potencial debido a la presión permanece constante en un fluido.

Presentan ventajas tales como:

- Construcción simple y sin partes móviles.
- En comparación con otros caudalímetros, son económicos.
- Es posible usarlo en la mayoría de los fluidos.

Sin embargo, presentan ciertas desventajas:

- No existe una relación lineal entre la señal de salida y el caudal medido.
- Posible acumulación de depósitos en el equipo, afectando la medición.
- Importantes pérdidas de carga.

- Caudalímetros ultrasónicos

Los caudalímetros ultrasónicos son alimentados eléctricamente, según su principio de medición se clasifican en: de efecto Doppler y de tiempo de tránsito.

Los caudalímetros ultrasónicos de tiempo de tránsito se caracterizan por medir la diferencia entre el tiempo que tardan dos señales en atravesar una misma distancia, pero en sentido contrario, utilizando como medio un fluido. Si el caudal del fluido es nulo, los tiempos serán iguales, sin embargo cuando hay flujo los tiempos serán diferentes, ya que las velocidades de las señales serán afectadas por la del fluido cuyo caudal se desea determinar. Por su parte, en los de efecto Doppler, su principio de funcionamiento se basa en el cambio de frecuencia de la señal reflejada sobre algún elemento que se mueve con el fluido.

Presentan ventajas tales como:

- No presentan obstrucciones al flujo, por lo tanto no existe pérdida de carga.
- Instalaciones sencillas, y sin partes móviles.
- El principio de medición es independiente de las propiedades físicas, si esta es homogéneo.

Sin embargo, presenta desventajas:

- Las deposiciones en el sensor o dispositivo donde se realiza la medición puede provocar fallos del equipo y errores de medición.
- Costo elevado, en comparación con los demás caudalímetros.
- La exactitud depende, en gran medida, de las propiedades de propagación de las ondas sonoras del fluido. Luego, el grado de exactitud es intermedio a bajo.

- **Medidor de flujo másico Coriolis**

Los medidores de flujo másico Coriolis miden la masa a través de los principios de las fuerzas inerciales, que se generan cuando una partícula en un cuerpo rotatorio se mueve con respecto al cuerpo acercándose o alejándose del centro de rotación.

Presentan ventajas, tales como:

- Principio de aplicación universal para medir líquidos y gases.
- Medición directa del caudal másico, no es necesario compensar presión y temperatura.
- Es un sensor multivariable, permite medir el caudal másico, la densidad y la temperatura.

Sin embargo, presenta desventajas:

- Costo elevado.
- Limitaciones en mediciones de fluidos con bajo contenido en gases y a fluidos en una sola fase.
- Algunos modelos son de gran tamaño y pesados.

- **Medidor de flujo másico por efecto térmico.**

Los medidores de flujo másico por efecto térmico funcionan de manera tal que los elementos que componen el sensor son calentados o enfriados, y están conectados en su base a un puente de resistencias (Puente de Wheastone).

Cuando se mantiene constante la corriente eléctrica que circula por el elemento conductor, la relación entre la temperatura (resistencia eléctrica) y el caudal es directamente proporcional. Asimismo, se puede mantener constante la resistencia, en cuyo caso la potencia varía al aumentar o disminuir el flujo.

Existen los medidores de flujo másico por efecto térmico de película o membrana caliente y de hilo caliente.

Presentan ventajas, tales como:

- Es un sensor multivariable, permite medir el caudal másico y la temperatura del fluido.

- Medición directa del caudal másico, no requiere compensación de la presión o la temperatura.
- No presenta partes móviles.

Sin embargo, presentan desventajas:

- Cambios bruscos de temperatura pueden afectar la medición.
- Algunos modelos son sensibles a la composición del gas.
- La medición de fluidos contaminados implica un mantenimiento del equipo de medición.

Después de considerar las opciones en relación con los caudalímetros a utilizar en la construcción del prototipo medidor de la calidad del aire, considerando los beneficios e inconvenientes que presentan cada uno de ellos durante su funcionamiento, se decidió utilizar el medidor de flujo másico por efecto térmico de tipo hilo caliente, para llevar a cabo las mediciones de caudal del flujo de aire y la temperatura ambiente.

Se optó por este tipo de caudalímetro respecto de los demás, por tratarse de un instrumento de medición disponible en el mercado y económico, en relación con otros caudalímetros. Asimismo, presenta una gran robustez y sin partes móviles, lo cual beneficia al prototipo por tratarse de un muestreo que se realiza al aire libre, y en zonas dedicadas al agro.

Sin embargo, las complicaciones en la aplicación del caudalímetro seleccionado surgieron en la disposición de pines, sus rangos de trabajo, es decir las especificaciones técnicas del dispositivo de medición. La falta de información del sensor de flujo de masa de aire es debido a que se trata de instrumentos de medición usados específicamente en automóviles, por lo cual, generalmente, quienes diseñan y arreglan los vehículos precisan de este tipo de información. En otras palabras, es un instrumento de aplicación específica.

6.3.3. OPCIONES DE MICROCONTROLADORES Y PLATAFORMAS MICROCONTROLADORAS - SELECCIÓN Y JUSTIFICACIÓN

Un microcontrolador es un circuito integrado digital, cuya función es la de automatizar procesos y procesar información. Incluye sistemas para controlar elementos de entrada/salida, como así también un microprocesador y memoria para almacenar el programa y sus variables.

Asimismo, es necesario seleccionar un microcontrolador capaz de llevar a cabo el control de los dispositivos electrónicos periféricos que forman parte del prototipo medidor de la calidad del aire, entre los cuales se encuentran el variador electrónico de velocidad del motor eléctrico brushless, el medidor de flujo de masa de aire con el sensor de temperatura IAT, la interfaz de usuario (teclado y display LCD), el convertidor DC-DC Boost y la fuente de alimentación del motor (batería LiPo), como así también la del propio microcontrolador (batería 9V).

Para hacer uso del microcontrolador se especifica su funcionamiento por software, a través de un programa que le indique al microcontrolador las instrucciones a ejecutar. Los programas se almacenan en una memoria de acceso aleatorio o RAM, mientras que la Unidad Central de Proceso o CPU se encarga de procesar cada una las instrucciones del programa.

Al fabricar un prototipo, se debe construir el hardware sobre el cual correrá el software del dispositivo que se ha diseñado, por esta razón se toman componentes de diferentes proveedores, integrándolos y haciendo que funcionen como un conjunto. Asimismo, en estas situaciones resulta conveniente el uso de plataformas de desarrollo electrónico.

Generalmente, se trata de placas que integran microcontroladores, circuitos y componentes electrónicos que proporcionan diversas capacidades básicas, como alimentación de energía o comunicación. De esta manera, se selecciona la plataforma de desarrollo que funcione con el microcontrolador elegido y que cuente con las prestaciones adecuadas, reduciendo el tiempo de desarrollo, permitiendo llegar a un prototipo 100% funcional y de bajo costo, es decir que su relación costo – beneficio es muy alta.

La disponibilidad de microcontroladores en el mercado es muy amplia, razón por la cual existe una gran variedad de modelos de placas de desarrollo diferenciándose entre sí por las funcionalidades que presentan.

Luego, los criterios para la selección de una plataforma de desarrollo están íntimamente ligados a las necesidades del desarrollador del prototipo. Además, debe ser de bajo costo, fácil entendimiento y accesible, como así también, resistente a fallas.

Un punto importante a destacar es el compilador a utilizar. De esta manera, la programación en lenguaje C es el lenguaje que mayor difusión y uso presente en la actualidad, porque permite la reutilización del código en diferentes proyectos sin mayores complicaciones.

La elección de una plataforma de desarrollo de prototipos electrónicos más idóneo es consecuencia de la valoración de las características de cada uno de las potenciales opciones a emplear:

- Raspberry Pi

El Raspberry Pi es un ordenador, que tiene un microprocesador, cuya función es la programación intensiva con gran cantidad de datos. El Raspberry es una placa de pequeño tamaño, formado por un microprocesador ARM con potencia de hasta 1Ghz, integrado en un chip Broadcom BCM2835. Además cuenta con todo lo necesario para ejecutar programas básicos, programar y navegar por internet. Precisa de una tarjeta de memoria SD o microSD, de esta manera, solo debe conectarse a la corriente eléctrica. Actualmente, las placas presentan hasta 4 puertos USB para conectar teclado y mouse, un conector HDMI y una conexión Ethernet para poder tener internet vía cable. También, es posible conectar el teclado USB y un mouse sustituyendo al ordenador, y llevar a cabo, prácticamente, todas las funciones que es posible realizar con el sistema Linux.

Entre los sistemas operativos disponibles se encuentran: Raspbian, Arch Linux, RaspBMC, OpenELEC e incluso, se dispone de Windows 10 IoT Core Insider Preview según la página web de Microsoft.

El Raspberry Pi es una placa con mayores capacidades de memoria RAM, frecuencia de CPU y capacidad de almacenamiento en comparación con una placa de Arduino. Asimismo, las capacidades de corriente y voltaje y el número de entradas y salidas disponibles son mayores en la placa de Arduino, como así también la programación en tiempo real, a diferencia de la placa de Raspberry que se usa para una programación intensiva con gran cantidad de datos y no dispone de un control de pines en tiempo real.

Económicamente, su costo es superior en comparación con las placas de Arduino.

- Parallax Basic Stamp

Basic Stamp constituye un módulo del hardware que contiene toda la electrónica que rodea al microcontrolador y posee un intérprete especializado de BASIC que se encuentra en su memoria ROM. Fabricado por Parallax Inc., se caracteriza por su facilidad de aprendizaje y uso. Utiliza un lenguaje de programación sencillo, denominado PBASIC, derivado del BASIC, pero adaptado al uso de microcontroladores.

El módulo BASIC Stamp traduce del lenguaje PBASIC al lenguaje de máquina de manera que el usuario solamente edite, de manera gratuita en Windows, Mac y Linux, el programa a ejecutar y, mediante un cable serie o USB, transferirlo directamente a la memoria EEPROM donde será almacenado y cuyas instrucciones serán procesadas por el mismo módulo.

Basic Stamp posee la forma de un chip DIP (Dual in Package), encontrándose en una placa de circuito impreso que contiene los elementos esenciales para un microprocesador: un microcontrolador que contiene la CPU, ROM que posee el intérprete de BASIC y varios elementos periféricos; memoria EEPROM; reloj interno; una fuente de alimentación y conexiones externas de entrada y salida.

Algunas aplicaciones del Basic Stamp: electrónica industrial, interfaz con otros microprocesadores, equipos de medición y de diagnóstico, como así también interfaz con otros dispositivos de lógica TTL: teclado, pantallas LCD, sensores, memorias, conversores A/D y D/A, entre otros.

Parallax Basic Stamp es una placa de desarrollo de costo elevado, de precio similar a la placa de desarrollo Raspberry Pi, por lo tanto más costosa que la placa de desarrollo Arduino. Además, su disponibilidad es escasa, razón por la cual se deben adquirir en el exterior, lo cual implica un costo extra relacionado con el envío.

- Arduino

Arduino es una plataforma de prototipos electrónicos de código abierto, basada en hardware y software fáciles de usar. El microcontrolador de la placa se programa utilizando el Lenguaje de Programación de Arduino y el Entorno de Desarrollo de Arduino. Los proyectos de Arduino pueden ser autónomos o se pueden comunicar con software en ejecución en un ordenador. El software es de descarga gratuita, y los diseños de referencia del hardware están disponibles bajo licencia de uso gratuito, por lo cual se adapta a las necesidades de quien diseña el prototipo.

El software de Arduino presenta un entorno de desarrollo (IDE, por sus siglas en inglés) gratuito, con la opción de descarga desde la página web oficial de Arduino y aplicable en la mayoría de las plataformas, tales como Windows, Linux y Mac. El lenguaje de programación es sencillo, sobre todo si se tiene conocimientos previos en lenguajes de programación como C o Java.

El hardware Arduino más sencillo está formado por una placa con un microcontrolador y una serie de puertos de entrada y salida. Los microcontroladores AVR más usados son el Atmega168, Atmega328, Atmega1280, y Atmega8 por su sencillez y bajo costo.

Las placas de Arduino se diferencian entre sí por la tensión utilizada en las placas, el número de conexiones, el procesador utilizado, la memoria, y el número de entradas y salidas, como así también, la posibilidad de alimentar diferentes elementos desde la propia placa Arduino.

Después de analizar las características de cada una de las opciones del microcontrolador – placa de desarrollo disponibles para llevar a cabo el diseño y la construcción del hardware y el software del prototipo medidor de la calidad del aire, como así también evaluar las ventajas y desventajas de cada uno de ellos, se eligió la plataforma de desarrollo de Arduino, porque presenta ciertos beneficios, en comparación con las otras opciones, tales como:

- Presenta un código abierto, el cual posibilita la extensión, incluso mejoras, del software y del hardware por parte de programadores experimentados.
- El entorno de programación es fácil de usar, y flexible a cada una de las situaciones de programación.
- El costo de las placas de Arduino es sensiblemente menor en comparación con otras plataformas de microcontroladores.

6.3.4. OPCIONES DE FUENTES DE ALIMENTACION - SELECCIÓN Y JUSTIFICACIÓN

Al llevar a cabo el diseño y la construcción de hardware y el software de un prototipo medidor de la calidad del aire, es imprescindible determinar la forma de alimentación de cada uno de los componentes que forman parte del dispositivo, teniendo en cuenta que se trata de un prototipo de funcionamiento autónomo.

Entre los componentes se encuentra la plataforma de desarrollo Arduino con el microcontrolador correspondiente, para la cual existen diferentes opciones de alimentación de la placa; como así también el motor eléctrico brushless con el controlador electrónico de velocidad o ESC (por sus siglas en inglés), el cual es alimentado por otra fuente de alimentación diferente a la de la placa Arduino.

Existen diferentes formas de alimentar la placa de Arduino, sin embargo, resulta esencial considerar conceptos previos, así como:

- Voltaje suministrado pero no utilizado (V): voltaje que la placa de Arduino consume pero no es utilizado. Generalmente, estas placas funcionan a 5V, con un regulador de tensión que convierte el voltaje de alimentación de la placa (7V – 12V) a 5V (o 3.3V), de esta manera el resto de la tensión suministrada se convierte en calor.
- Capacidad (mAh): indica la cantidad de carga medida en miliamperios que descarga en una batería durante una hora para que la misma se descargue por completo, por lo cual a mayor tiempo de funcionamiento se debe incrementar la capacidad de la batería.

Es importante destacar que ciertos métodos de alimentación como: USB, adaptador de corriente y fuentes de alimentación regulables son descartados, porque no cumplen con una de las condiciones principales del prototipo, la cual es la autonomía del equipo de medición.

En el caso del USB, la placa se alimenta a través del cable USB que está conectado a la computadora, de esta manera constituye una forma de alimentación efectiva solamente durante el proceso de programación y, además, suministra un valor de corriente eléctrica bajo, 500 mA.

El uso del adaptador de corriente presenta como principal desventaja el hecho de que no es posible movilizar el dispositivo con libertad, ya que es necesario la presencia de un toma corriente accesible para la conexión con la placa siempre.

La fuente de alimentación regulable se utiliza, solamente, en el entorno del laboratorio.

Por otra parte, existen diferentes alternativas para alimentar la placa Arduino por batería:

- Pila de 9V.

Es una opción accesible, tanto económicamente como de disponibilidad en el mercado; como también lo son los cables y portapilas necesarios para poder conectar la pila de 9V a la placa de Arduino, a través de conector jack que se encuentra en la misma.

Sin embargo, la densidad energética es baja en las pilas de 9V, proporcionando, generalmente, 500 – 600 mAh, y una intensidad de corriente baja, alrededor de 300 mA. Por esta razón, según cual sea la aplicación será conveniente su uso.

- Pilas AA de 1.5V.

Es posible utilizar cuatro pilas AA colocadas en serie, lo cual proporciona un valor de tensión total de 6V. Aunque se trata de una opción simple y accesible por su disponibilidad en el mercado y su bajo costo, a largo plazo no resulta una opción económica porque las pilas no son recargables, luego pasado un tiempo determinado deben reemplazarse por pilas nuevas.

- Pilas recargables AA de 1.2V.

Se trata de pilas recargables de Níquel – Metalhidruro de 1.2V por pilas, por lo cual serán necesarias 5 pilas para obtener 6V.

Las pilas recargables AA son fáciles de conseguir en el mercado, como así también los portapilas, cables y demás accesorios necesarios para realizar la conexión a la placa de Arduino. Sin embargo, su costo es superior en comparación con las pilas no recargables y, además, es necesario la compra de un cargador para las pilas.

La carga de las pilas recargables es superior en comparación con las pilas no recargables. Las pilas de Níquel - Metalhidruro presentan capacidades entre 600 – 2500 mAh, mientras que las pilas de Níquel - Cadmio tienen una carga de entre 500 – 1000 mAh. Por otro lado, la intensidad de corriente máxima es similar en ambas, aproximadamente 1 A, lo cual es una opción a tener en cuenta en proyectos que no requieran de intensidad eléctrica ni capacidades elevadas.

- Baterías de Plomo – ácido.

Se trata de un tipo de baterías que se usan, normalmente, en automóviles. Suelen proporcionar una tensión de 6V, 12V u otro múltiple de 2, ya que la tensión que suministra cada celda es de 2V. Suministran intensidades de corriente relativamente grandes.

El funcionamiento de las baterías está basado en la pila electroquímica. Existen dos electrodos, uno positivo y otro negativo, que al conectarlos formando un circuito cerrado, generan una corriente eléctrica, es decir, los electrones fluyen de manera espontánea de un electrodo a otro. Las baterías están formadas por varios pares de electrodos que se sitúan en compartimentos independientes llamados celdas. En las celdas los electrodos están sumergidos en la disolución que recibe el nombre de electrolito

En las baterías de plomo ácido, el electrodo positivo se compone de una placa de plomo recubierta por óxido de plomo y el electrodo negativo por plomo esponjoso. Reciben el nombre de baterías de plomo “ácido” porque utilizan como electrolito una disolución de ácido sulfúrico.

Las baterías de plomo – ácido se caracterizan por un proceso de fabricación simple y su bajo costo de comercialización. Sin embargo, son altamente contaminantes, con un peso excesivo, ya que su composición principal es el plomo, y de baja densidad de energía (30Wh/kg). Además, se debe prestar especial atención a cargas y descargas profundas, lo cual disminuye, considerablemente, la vida útil de las mismas.

- Baterías de Níquel – Metalhidruro (Ni-Mh).

Es una opción similar a las pilas AA de Ni-Mh, pero integradas como una única batería de mayor o menor tamaño, con conectores. Existen las baterías de 5 celdas con una tensión de 6V, u 8 celdas con una tensión de 9.6V. Además, presentan una densidad de energía media – alta (300 a 5000 mAh) en baterías de peso moderado. En lo que respecta a la cantidad de energía, pueden proporcionar hasta 15 A en el caso de grandes baterías.

Sin embargo, las baterías Ni-Mh tienen un costo significativo en comparación con las demás opciones, y exige el uso de un cargador especial, lo cual implica un costo extra.

En proyectos donde sea necesario una gran capacidad y corrientes medias son útiles este tipo de baterías.

- Baterías de polímero de Litio (LiPo).

Las baterías de polímero de Litio se presentan en diferentes voltajes, en función del número de celdas que las componen. De esta manera, existen las de 1 celda (1S) con un voltaje de 3.7V, 2 celdas (2S) con un voltaje de 7.4V, 3 celdas (3S) con un voltaje de 11.1V, 4 celdas (4S) con un voltaje de 14.8V, 5 celdas (5S) con un voltaje de 18.5V y celdas (6S) con un voltaje de 22.2V.

Las baterías LiPo de 2S permiten alimentar servomecanismos y motores de corriente continua, sin embargo es conveniente reducir el valor de tensión a 6V – 7V. Por otra parte, las baterías LiPo de 3S son adecuadas para accionar motores paso a paso y motores eléctricos brushless.

En comparación con las demás opciones de baterías, las LiPo se caracterizan por presentar la densidad de energía más elevada, intensidades de 50 A a 100 A y capacidades desde 500mAh a 5000 mAh.

Las baterías LiPo son la opción más costosa en comparación con las demás baterías, sin embargo, al ser recargables se convierten en la mejor alternativa a largo plazo, teniendo en cuenta que sus propiedades eléctricas son superiores a las demás baterías.

Es importante destacar, que la recarga de las mismas se lleva a cabo por cargadores especiales, y bajo supervisión durante el proceso de carga. La mayoría de estos cargadores utilizan un método de carga de corriente constante / voltaje constante, lo cual significa que la corriente constante se aplica a la batería durante la primera parte del ciclo de carga. Luego, a medida que la tensión se acerca a la tensión de carga al 100%, el cargador reducirá automáticamente la corriente de carga y luego aplicará una tensión constante. El cargador dejará de cargar cuando el 100% del voltaje de carga de la batería iguale la constante de voltaje configurada.

Al igual que la placa de desarrollo Arduino, el motor eléctrico brushless con el controlador electrónico de velocidad requiere de una fuente de alimentación para su funcionamiento. Es importante destacar que, al tratarse de un prototipo de monitoreo autónomo, al igual que la placa de Arduino, será necesario utilizar una batería para asegurar la alimentación eléctrica del motor brushless con su correspondiente variador electrónico de velocidad.

Por consiguiente, las opciones de baterías son:

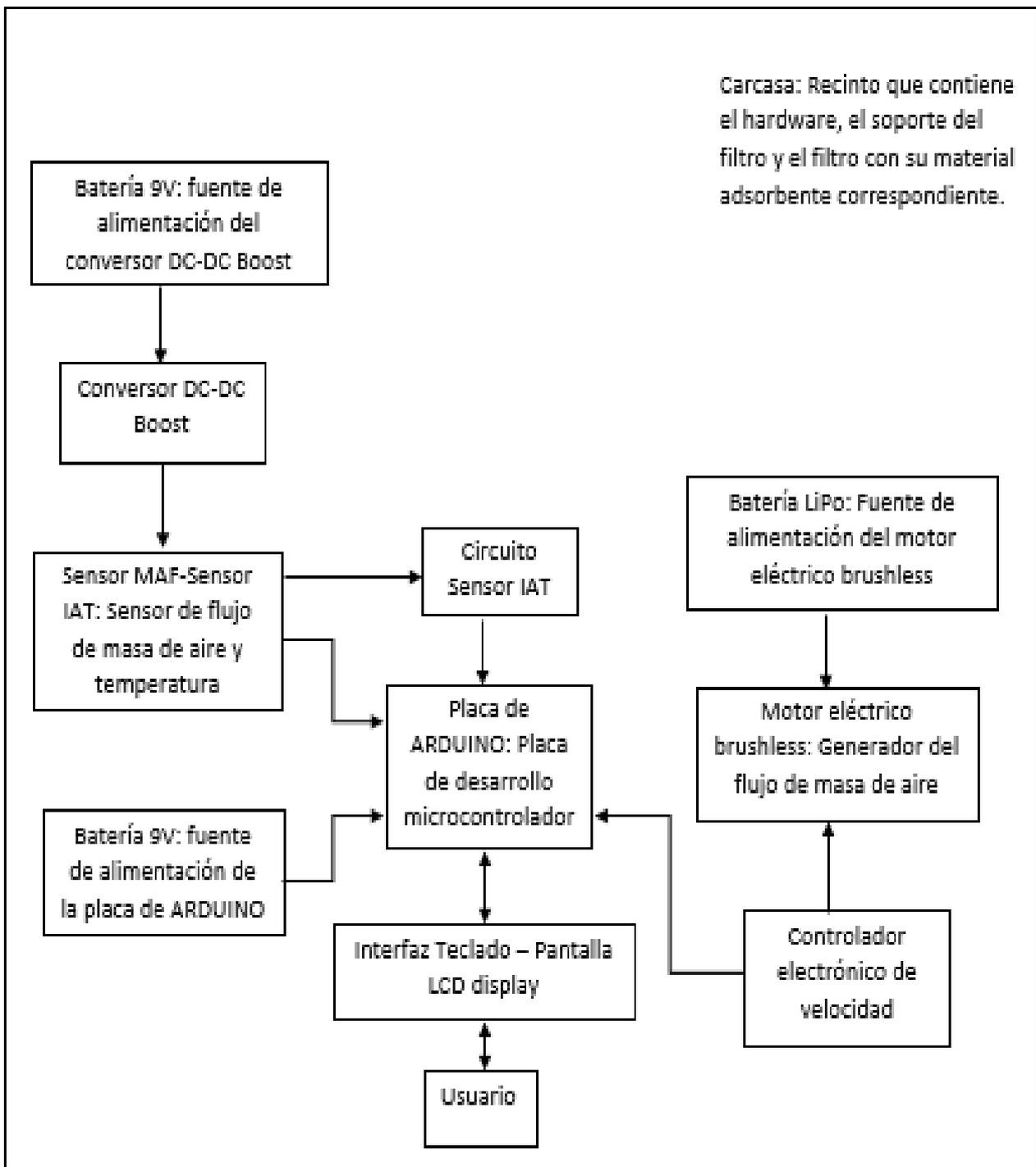
- Baterías de plomo ácido.
- Baterías de polímero de Litio (LiPo).

Después de analizar las diferentes alternativas para alimentar la placa Arduino se decidió utilizar una batería de 9V, puesto que se trata de una opción simple y económica, y cuyas características, relacionadas con la densidad de energía y la intensidad de corriente, son apropiadas en relación con la función que desempeña la placa en el prototipo medidor de la calidad del aire.

Por otro lado, en lo que respecta a la alimentación del motor eléctrico brushless con el controlador electrónico de velocidad, se resolvió utilizar la batería de polímero de Litio. Si bien representa la opción más costosa, sus propiedades eléctricas se adecuan perfectamente a las necesidades de alimentación del conjunto motor eléctrico brushless – controlador electrónico de velocidad.

6.4. DISEÑO DEL PROTOTIPO

6.4.1. DIAGRAMA EN BLOQUES DEL PROTOTIPO



- **Placa de ARDUINO**

Es la placa de desarrollo del microcontrolador. En el desarrollo del prototipo medidor de la calidad de aire se utiliza la placa Arduino MEGA 2560 y el software Arduino 1.8.5 para llevar a cabo la programación del hardware que forma parte del equipo de medición del flujo de caudal de aire y temperatura ambiente en aplicaciones agropecuarias.

- Motor eléctrico brushless

Es el generador de un flujo forzado de masa de aire que ingresa por la garganta del prototipo de medición, zona donde se encuentra el filtro con su material adsorbente y su correspondiente soporte. Este flujo de masa de aire puede contener partículas del plaguicida a determinar cualitativamente, por esta razón, resulta fundamental que el diseño y dimensionamiento tobera convergente – divergente, como la selección del motor a utilizar sea correcto, pues, de lo contrario la presencia de flujos turbulentos y bajo rendimiento en el funcionamiento del motor impiden el monitoreo aéreo.

- Controlador electrónico de velocidad

Es un dispositivo electrónico que controla la variación de velocidad del motor eléctrico brushless por modulación por ancho de pulso. El controlador electrónico de velocidad está formado por un circuito electrónico, controlado por un microcontrolador, en el caso del prototipo medidor de la calidad del aire se trata del Atmel AVR presente en las placas de desarrollo Arduino, el cual es el software elegido para llevar a cabo la programación del equipo de medición.

- Sensor MAF – Sensor IAT

Es un dispositivo electrónico de medición que se utiliza, principalmente en los automóviles, para medir el volumen de aire que ingresa al motor, luego la unidad de control utiliza esta información para controlar la mezcla de aire y combustible en el vehículo.

En el caso del prototipo medidor de la calidad del aire, el sensor MAF permite medir el flujo de masa de aire que circula por la tobera, y determinar el caudal de aire que se ha monitoreado en un periodo de tiempo.

En lo que respecta al sensor de temperatura IAT, permite que la unidad de control corrija el tiempo de inyección en función de la densidad del aire que ingresa a las cámaras de combustión. En relación con el prototipo medidor de la calidad del aire, el sensor de temperatura IAT mide la temperatura ambiente del aire que ingresa al equipo de medición durante el monitoreo aéreo.

- Circuito del sensor IAT

Es el circuito electrónico que permite calcular la temperatura ambiente del flujo de masa de aire monitoreado expresada en grados centígrados.

- Conversor DC-DC Boost

El sensor de flujo de masa de aire requiere de una fuente de alimentación de 12V, luego, por razones de espacio y peso del prototipo, se consideró oportuno utilizar una batería de 9V en conjunto con un conversor DC-DC elevador con el objetivo de proveer la alimentación necesaria al MAF.

- Interfaz Teclado-Pantalla LCD Display

Interfaz que permite relacionar al usuario con el prototipo medidor de la calidad del aire. El display LCD le permite al usuario visualizar el procedimiento a seguir para la obtención de la muestra del aire monitoreado. Asimismo, le indica las teclas a oprimir para iniciar, pausar y finalizar el proceso de monitoreo aéreo.

- Usuario

Se trata de la persona que lleva adelante el proceso de medición de la calidad del aire. El prototipo precisa de una persona que lleve a cabo la conexión de la batería, que permite la alimentación del motor eléctrico, como así también, colocación del conjunto filtro-material adsorbente-soporte del filtro en la garganta del prototipo, encendido, pausado, apagado, y retiro del conjunto filtro-material adsorbente-soporte del filtro para su posterior análisis cualitativo en el laboratorio.

- Batería LiPo

Fuente de alimentación del motor eléctrico brushless.

- Batería 9V

Fuente de alimentación del conversor DC-DC Boost

- Batería 9V

Fuente de alimentación de la placa de desarrollo Arduino.

- Carcasa

Estructura constituida principalmente por la tobera convergente-divergente y una estructura de soporte de la misma.

La tobera convergente-divergente se caracteriza por una zona denominada garganta, en la cual se coloca el conjunto filtro-material adsorbente-soporte del filtro necesario para la obtención de la muestra que luego será analizada cualitativamente en el laboratorio. Por otro lado, en uno de los extremos se la zona divergente se encuentra una estructura denominada tapa de la base, en la cual se coloca el motor eléctrico brushless.

En lo que respecta a la estructura de soporte, se caracteriza, principalmente, por proveer la base necesaria para colocar el hardware del prototipo, como así también sirve de estructura de soporte de la tobera convergente-divergente.

6.4.1.1. CARCASA

Para llevar a cabo el diseño de la carcasa del prototipo medidor de la calidad del aire en aplicaciones agropecuarias fue necesario determinar las partes que conforman el mismo. Por un lado, la forma geométrica, como así también las dimensiones, de la estructura por la cual circula, de manera forzada, el flujo de masa de aire a monitorear, y el cual permitirá determinar cualitativamente la presencia de plaguicidas en el área donde se efectúa la medición.

Asimismo, existe una zona de la estructura, por la cual circula el flujo de masa de aire, denominada garganta, en la cual se introduce el filtro con su correspondiente material adsorbente, en el cual impactarán las partículas suspendidas en el aire durante el monitoreo aéreo. Luego, la muestra obtenida será analizada en el laboratorio correspondiente, permitiendo determinar cualitativamente la presencia de plaguicidas, en especial aquellos que se utilizan en aplicaciones agropecuarias.

Por otra parte, el armazón que le otorgue contención y protección a la estructura por la cual circula el flujo de masa de aire, como así también, que brinda soporte y salvaguarda los componentes que forman parte del hardware del prototipo de medición, necesarios para determinar cuantitativamente el flujo de masa de aire que circula durante el monitoreo y la temperatura ambiente del aire, de acuerdo con los datos previamente introducidos, mediante la plataforma de programación Arduino, como la velocidad de

funcionamiento óptimo del motor, el máximo caudal de monitoreo y el tiempo de medición. Cabe destacar que el máximo caudal de monitoreo utilizado en el programa Arduino, es el máximo caudal que monitorean los equipos que se comercializan en la actualidad.

Finalmente, con las dimensiones de cada una de las zonas, se procede al diseño del prototipo con la ayuda del software SolidWorks, a posteriori se realiza la impresión 3D del prototipo medidor de la calidad del aire en aplicaciones agropecuarias.

6.4.1.1.1. DISEÑO DE TOBERA CONVERGENTE-DIVERGENTE

Diseño y dimensionamiento del prototipo según la Norma ISO 9300: *Medición del flujo de gas por medio de boquillas Venturi de flujo crítico*. Segunda Edición. 2005-08-15.

El diseño de la estructura con forma de tobera convergente – divergente es un factor preponderante en el prototipo medidor de la calidad del aire en aplicaciones agropecuarias, pues, a través de ella circula el flujo de masa de aire a monitorear, el cual debe ser un flujo laminar, donde la presencia de posibles flujos turbulentos debe ser mínima.

El generador del flujo de masa de aire dispuesto para este prototipo es un motor eléctrico brushless que presenta un rango de velocidades dentro del cual se logra optimizar el funcionamiento del mismo.

De lo expuesto anteriormente, es posible observar que a medida que aumenta el flujo de masa de aire que circula por la tobera convergente-divergente, también incrementan las posibilidades de formación de flujos turbulentos en las diferentes zonas que conforman la estructura, por esta razón el diseño y dimensionamiento de la tobera convergente-divergente es un factor determinante que asegura el correcto funcionamiento del prototipo medidor de la calidad del aire.

La Norma Internacional ISO 9300:2005 especifica la geometría y su metodología de uso utilizado para determinar la tasa de flujo másico de un gas que fluye a través de un sistema. La misma se aplica a boquillas venturi en las cuales el flujo del gas se acelera, llegando a la velocidad crítica en la zona de la garganta, donde el caudal másico del gas es el máximo posible.

Por consiguiente, aplicando los conceptos presentes en la Norma ISO 9300 en relación al diseño de boquillas venturi de garganta cilíndrica, se procedió al dimensionamiento de la tobera convergente-divergente considerando principalmente dos limitaciones relacionadas con el diseño:

- La zona divergente tendrá un diámetro de 23 cm, ya que, el mismo, coincide con el diámetro de la tapa del prototipo, en el cual se encuentra fijo el motor eléctrico brushless y su hélice correspondiente. Cabe destacar que la limitación en relación con el diámetro radica en el hecho de que la disponibilidad en relación a los tamaños de las hélices en el mercado es escaso, luego la hélice de menor tamaño que se consiguió presenta un diámetro igual a 20 cm.
- El diámetro de la zona de la garganta, pues al igual que lo ocurrido con el tamaño de las hélices, el tubo de vidrio de borosilicato resulto la mejor opción para proveer el soporte necesario para los filtros con el material adsorbente. Luego, considerando la disponibilidad y el costo, relativamente, económico del tubo en comparación con tubos de diferentes materiales, resultó la opción más apropiada.

De esta manera, considerando las limitaciones y aplicando las fórmulas presentes en la Norma ISO 9300 en relación al diseño y dimensionamiento de la tobera convergente-divergente, se obtuvieron los siguientes resultados:

- Geometría Tobera Convergente.-Divergente: (*Figura 6.2.*)
 - Garganta:
 - Diámetro de la garganta = 5 cm.
 - Radio de la garganta = 2.5 cm.
 - Longitud de la garganta = diámetro de la garganta = 5 cm.
 - Región Divergente:
 - Diámetro de la región divergente = 23 cm.
 - Radio de la región divergente = 11.5 cm.
 - Ángulo de la región divergente: $\alpha_{\text{Divergente}} = 3^\circ$ o 4° .
 - Región Convergente:
 - Longitud de la región convergente debe ser mayor o igual que el producto del diámetro de la garganta multiplicado por el número 4. Luego, la longitud de la región convergente = 20 cm.

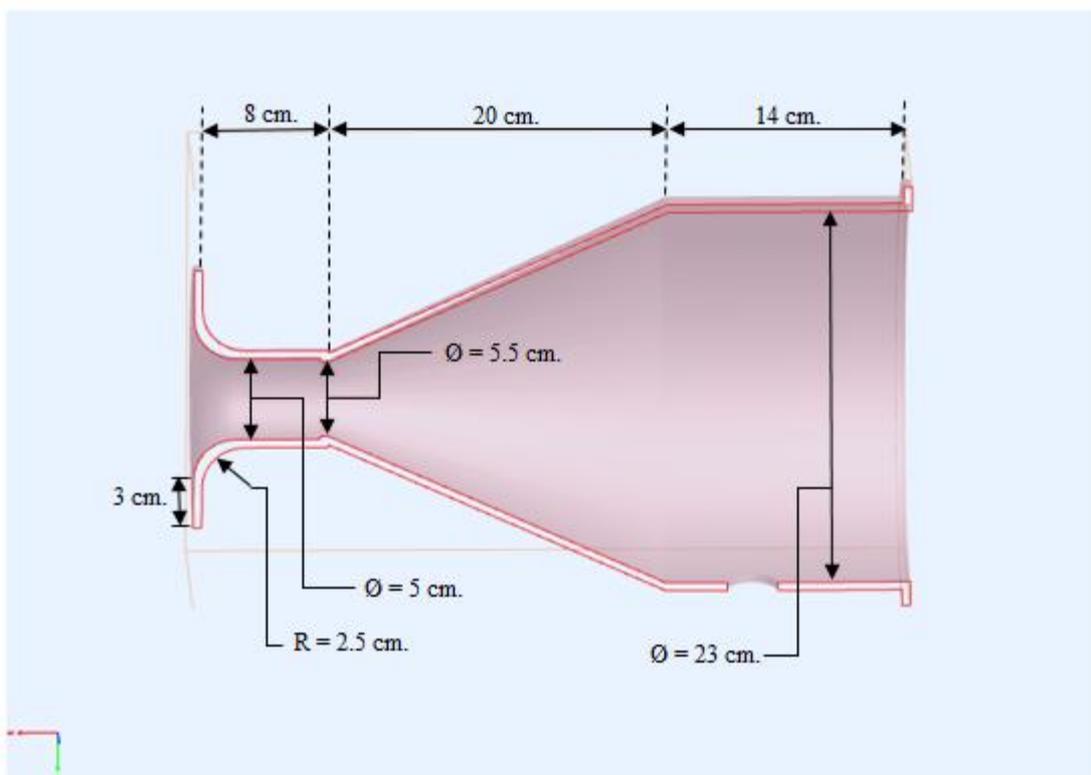


Figura 6. 2. Dimensionamiento tobera convergente-divergente según Norma ISO 9300.

Finalizada la etapa de diseño y dimensionamiento de la estructura de la tobera convergente-divergente del prototipo medidor de la calidad del aire se procedió a la fabricación de la misma utilizando la técnica del papel maché, con el objetivo de llevar a

cabo mediciones de prueba con la estructura previamente diseñada, y una vez verificado su funcionamiento, realizar la impresión 3D de todo el prototipo de medición.

Cabe destacar que la técnica de papel maché se realizó, específicamente, para la fabricación de la tobera, lo cual permitió evaluar el tipo de flujo de masa de aire, como así también su velocidad en relación con el rango de funcionamiento óptimo del motor eléctrico brushless.

En las imágenes que se encuentran a continuación es posible observar el paso a paso de la construcción de la tobera convergente-divergente. En principio, se dividió el volumen en 15 discos de igual espesor, donde cada uno de ellos corresponde a una zona determinada de la tobera (*Figura 6.3.*). Finalizada la etapa fabricación de la tobera, se aplicó la técnica de papel maché, con la cual se cubrió la totalidad de la tobera, logrando así una estructura externa resistente con la forma y dimensiones calculadas previamente. (*Figura 6.4.*)

Con la estructura de papel maché se realizaron mediciones de prueba, observando el comportamiento de la tobera convergente-divergente frente a las variaciones de velocidad del motor eléctrico brushless, con la presencia y ausencia del conjunto filtro-material adsorbente-soporte del filtro, midiendo las variaciones de velocidad del aire en la entrada de la sección de la garganta de la tobera.

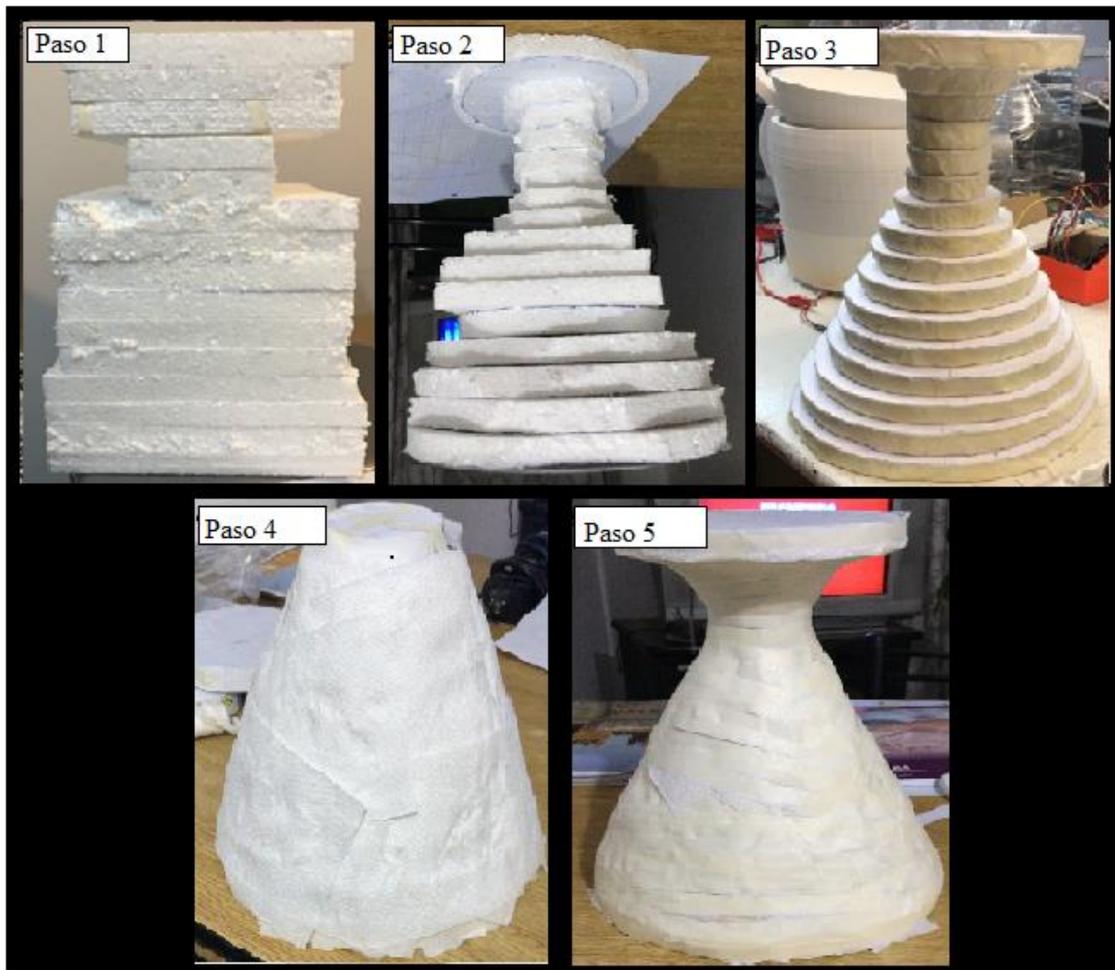


Figura 6. 3. Primeros 5 pasos de la fabricación manual de tobera convergente-divergente.

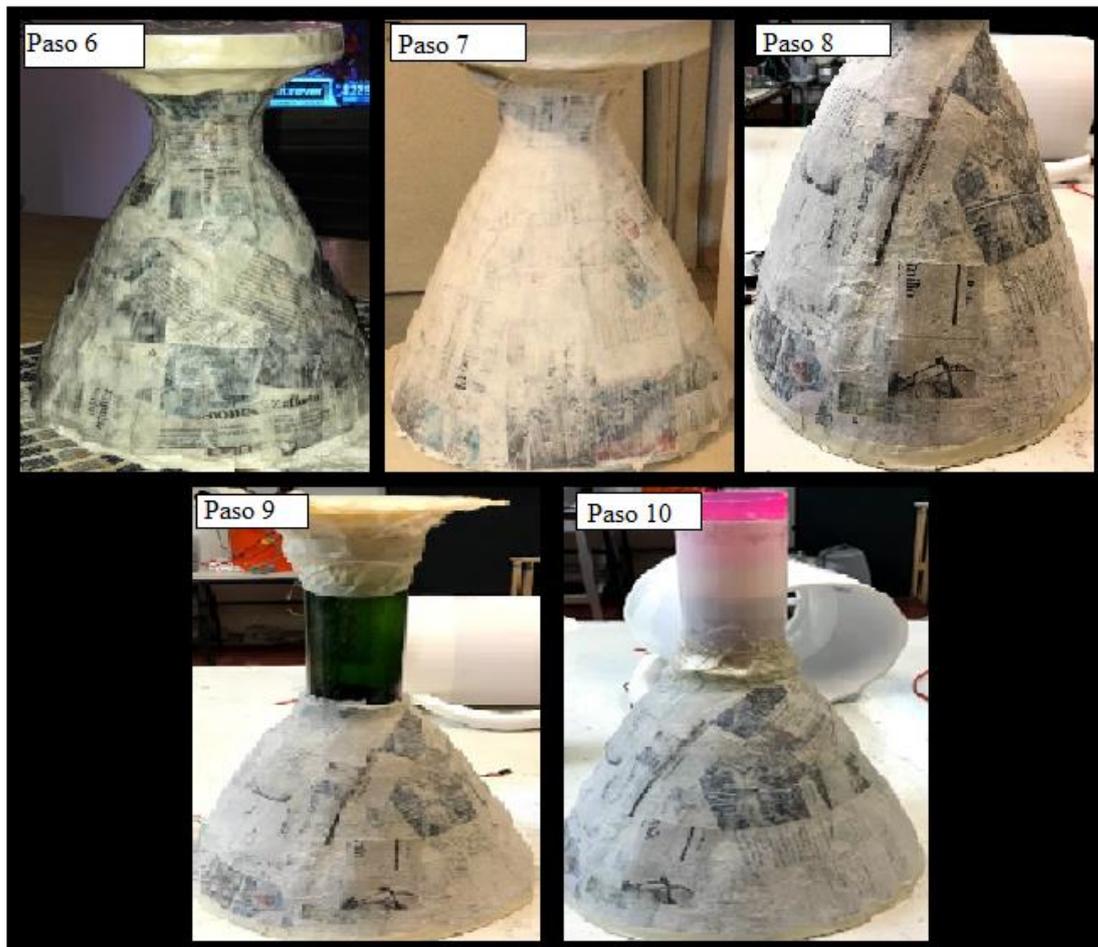


Figura 6. 4. Últimos 5 pasos de la fabricación manual de tobera convergente – divergente.

6.4.1.1.2. LIMITACIONES EN EL DISEÑO

El diseño de la tobera convergente-divergente presentó una serie de limitaciones al precisar las medidas correspondientes de la misma, entre ellas se destacó el tamaño de las hélices a utilizar en el motor eléctrico brushless.

Una hélice es el elemento necesario para que el motor eléctrico brushless opere de manera correcta, razón por la cual una correcta selección del paso y el diámetro de la misma es un factor preponderante para asegurar el funcionamiento del conjunto motor eléctrico-variador electrónico de velocidad-batería-hélice; de lo contrario pueden sufrir desperfectos algunos de sus componentes, incluso quemarse.

Los fabricantes de motores proporcionan la tabla con las medidas de las hélices recomendadas según el motor a utilizar, definiendo las hélices mediante su paso y su diámetro, normalmente expresado en pulgadas. El diámetro hace referencia al tamaño de la hélice, el cual está dado por la distancia de punta a punta de la hélice, es decir la circunferencia que genera al girar sobre un eje. Asimismo, el paso o ángulo de inclinación es el avance cuando gira una vuelta completa. El paso de una hélice y las revoluciones están inversamente relacionadas de forma que al incrementar el paso se reducen las revoluciones que el motor puede alcanzar.

Un incremento en el diámetro de la hélice o en el grado de inclinación de la misma, supone un mayor empuje, lo cual implica un mayor consumo de energía. Por otro lado, hélices de menor diámetro o grado de inclinación aceleran y puedan variar las revoluciones por minuto con mayor rapidez.

De lo expuesto anteriormente, el tamaño y ángulo de inclinación de la hélice constituyen dos factores relevantes en la selección de la misma. Las hélices con un grado de inclinación menor giran con mayor velocidad, mientras que aquellas con un mayor ángulo de inclinación pueden mover una mayor cantidad de aire, lo cual incrementa la posibilidad de crear flujos turbulentos.

Existen diferentes materiales para la fabricación de las hélices, se destacan las de plástico, fibra de carbono y de madera. Las propiedades de cada material se utilizan en función de la finalidad de la hélice. En el caso de la madera y la fibra de carbono proporcionan una mayor “suavidad” en el vuelo, mientras que el plástico brinda rigidez y durabilidad. En lo que respecta al diseño y construcción del prototipo medidor de la calidad del aire de aire, y de acuerdo con los objetivos que se persiguen, se utilizará una hélice de plástico, por presentar mayor durabilidad, y ser económicamente más accesibles en comparación con las de otros materiales.

Asimismo, el número de palas de una hélice es un elemento fundamental en relación con el rendimiento del conjunto motor-variador electrónico de velocidad-batería-hélice. Existen de diferentes tipos: de dos palas (2 alabes), tres palas (3 alabes) o múltiples palas (más de tres palas).

La selección de la hélice adecuada para el motor eléctrico brushless a utilizar en el prototipo medidor de la calidad del aire constituyó un factor limitante, ya que, una vez analizado las posibles opciones en relación con el diámetro y ángulo de inclinación adecuado según las especificaciones del motor eléctrico brushless, como así también el objetivo del conjunto, se procedió a la búsqueda para efectuar la compra de la misma, la cual se vio limitada ya que las opciones disponibles en el mercado en diferentes lugares relacionados con el aeromodelismo fue escasa. Por esta razón el tamaño de la hélice constituyó un factor determinante en el diseño de la tobera convergente-divergente.

Otra de las limitaciones relacionadas con el diseño de la tobera convergente-divergente del prototipo medidor de la calidad del aire es el diámetro de la zona de la garganta, en la cual se coloca un soporte con el filtro relleno con carbón activado, en el cual impacta el aire que ingresa por la tobera lleva a cabo la toma de la muestra para la determinación cualitativa del plaguicida monitoreado. En lo que respecta al diámetro, es necesario aproximar el mismo a las medidas de los tubos que se utilizan actualmente los equipos comercializados en la actualidad. Sin embargo, el tamaño de la hélice seleccionada afecta directamente en las fórmulas aplicadas para la obtención de las medidas necesarias para lograr una tobera convergente-divergente cuyo flujo de aire sea mayormente laminar. A su vez, las medidas obtenidas para la tobera convergente-divergente están directamente relacionadas con el diámetro de la zona de la garganta, razón por la cual este diámetro se obtiene por fórmula del dimensionamiento de la tobera. Con las medidas obtenidas, se procede a la búsqueda de un tubo de un material cuya composición no contamine el adsorbente a utilizar (carbón activado) y sea resistente, liviano y cuyas dimensiones se aproximen a las medidas obtenidas en el dimensionamiento. El tubo de vidrio de borosilicato (más conocido con los nombres comerciales de DURAN, Pyrex o Kimax) de 500 ml resulto la mejor opción, sus dimensiones coinciden con las medidas propuestas para la zona de la garganta, como así también sus propiedades físicas tales como durabilidad y resistencia química y calórica.

Asimismo, se trata de una opción viable, porque es de costo moderado y se encuentra con facilidad en el mercado, por tratarse de instrumentos de amplio uso en laboratorios de aplicaciones químicas y de ingeniería.

6.4.1.1.3.IMPRESIÓN 3D

Diseño del prototipo con el software SolidWorks

Luego de comprobar que el diseño y dimensionamiento de la tobera convergente-divergente es correcto y haciendo uso del software de diseño asistido por computadora para el modelado mecánico en 2D y 3D, llamado SolidWorks, se realizó el diseño de cada una de las partes que conforman el prototipo de medición de calidad del aire en aplicaciones agropecuarias, tales como:

- Diseño de la tobera convergente-divergente. (*Figura 6.5.*)
- Diseño del soporte del prototipo. (*Figura 6.6.*)
- Diseño de la tapa del prototipo. (*Figura 6.7.*)
- Diseño de la tapa de la base del prototipo. (*Figura 6.8.*)
- Diseño del prototipo medidor de la calidad del aire. (*Figura 6.9.*)

Asimismo, el software permite obtener imágenes de cada una de las vistas del prototipo de medición:

- Vista frontal del prototipo. (*Figura 6.10.*)
- Vista lateral izquierda del prototipo. (*Figura 6.11.*)
- Vista lateral derecha del prototipo. (*Figura 6.12.*)
- Vista posterior del prototipo. (*Figura 6.13.*)
- Vista superior del prototipo. (*Figura 6.14.*)
- Vista inferior del prototipo. (*Figura 6.15.*)

Diseño de la tobera convergente-divergente

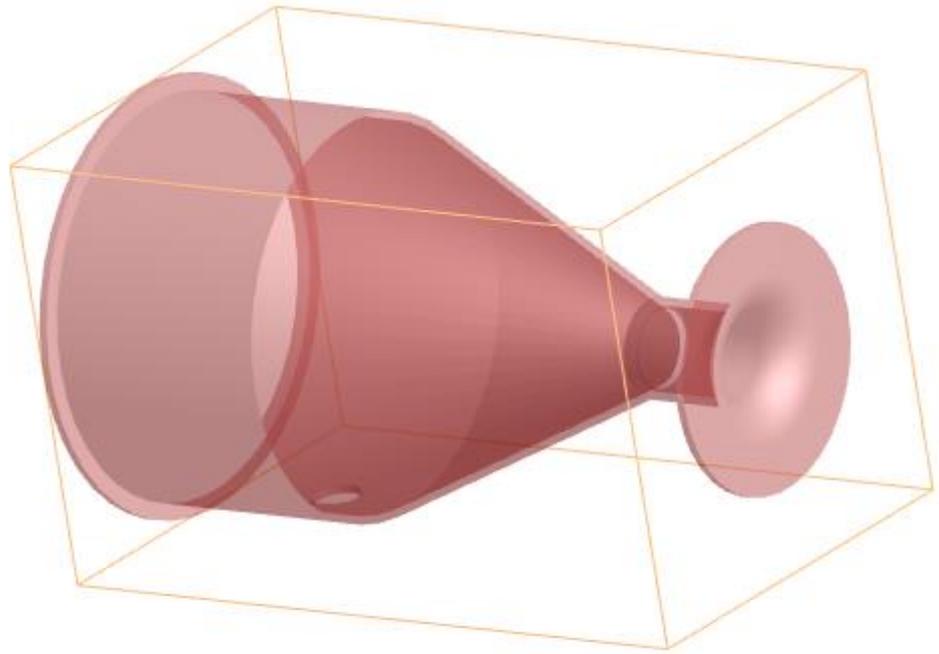


Figura 6. 5. Diseño en el software SolidWorks de la tobera convergente-divergente del prototipo medidor de la calidad del aire.

Diseño del soporte

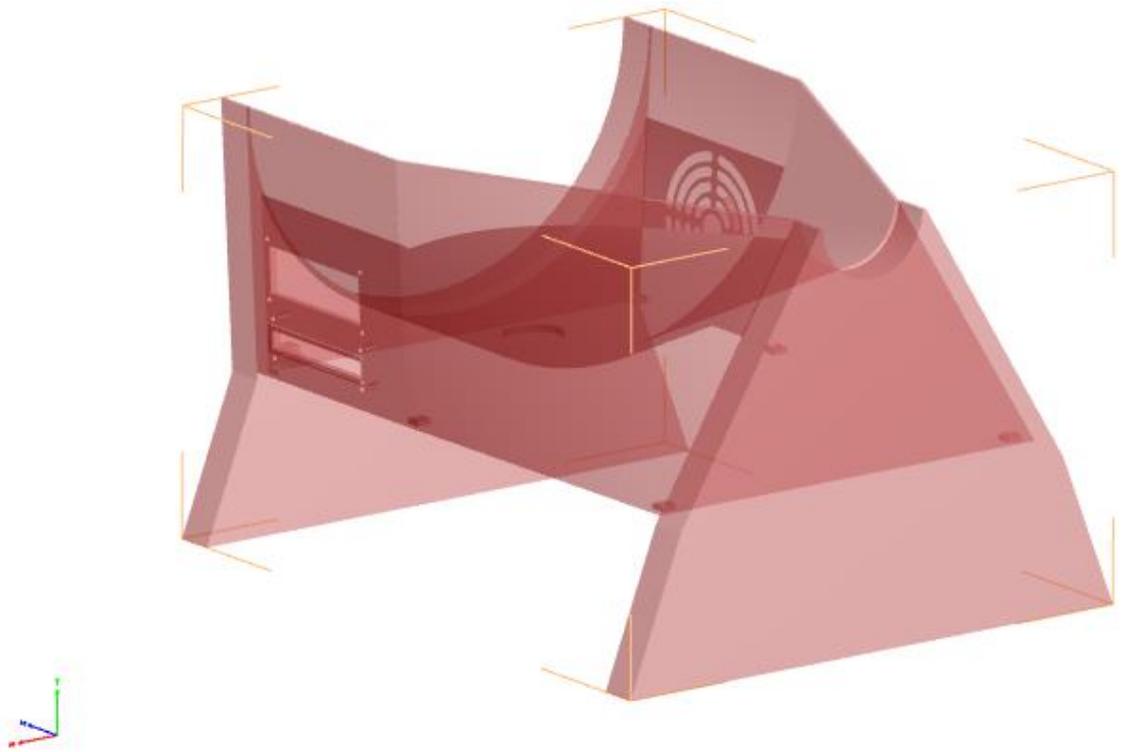


Figura 6. 6. Diseño en el software SolidWorks de la base del prototipo medidor de la calidad del aire.

Diseño de la tapa

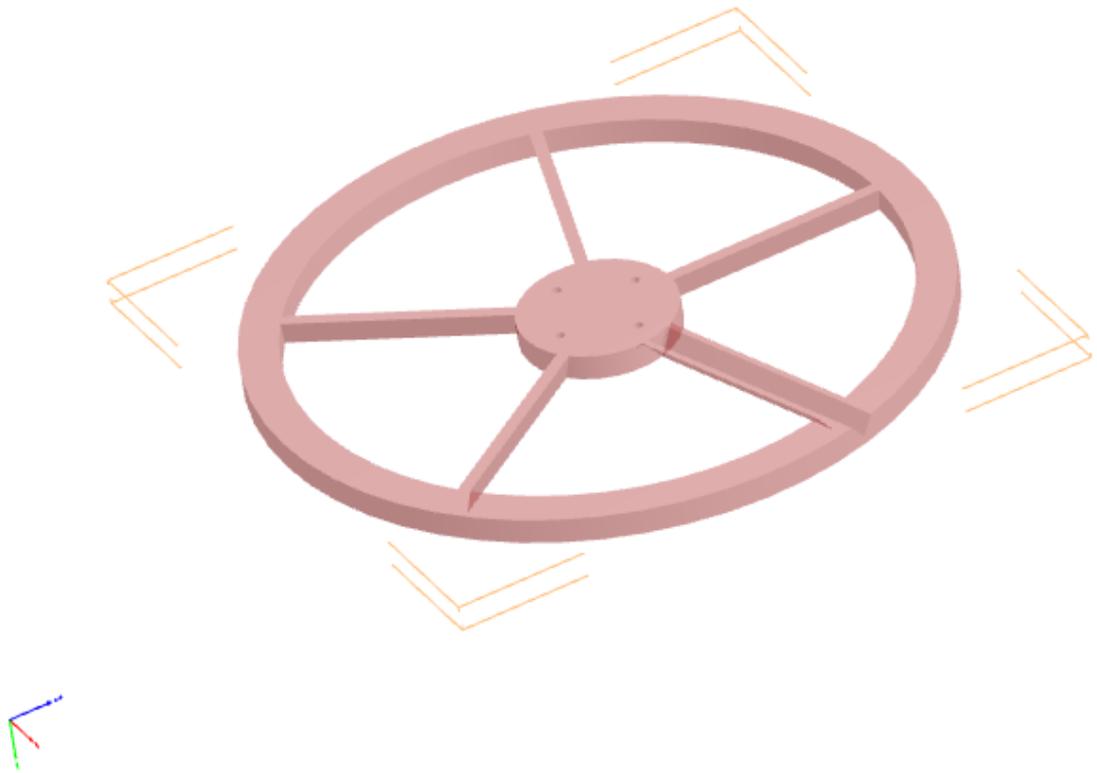


Figura 6. 7. Diseño en el software SolidWorks de la tapa del prototipo medidor de la calidad del aire.

Diseño de la tapa de la base

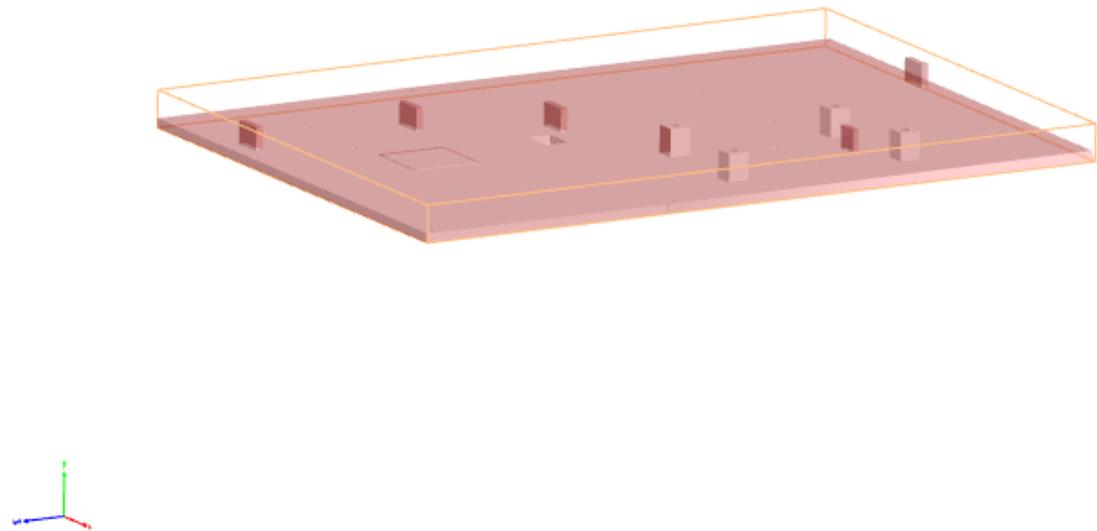


Figura 6. 8. Diseño en el software SolidWorks de la tapa de la base del prototipo medidor de la calidad del aire.

Diseño del prototipo medidor de la calidad del aire

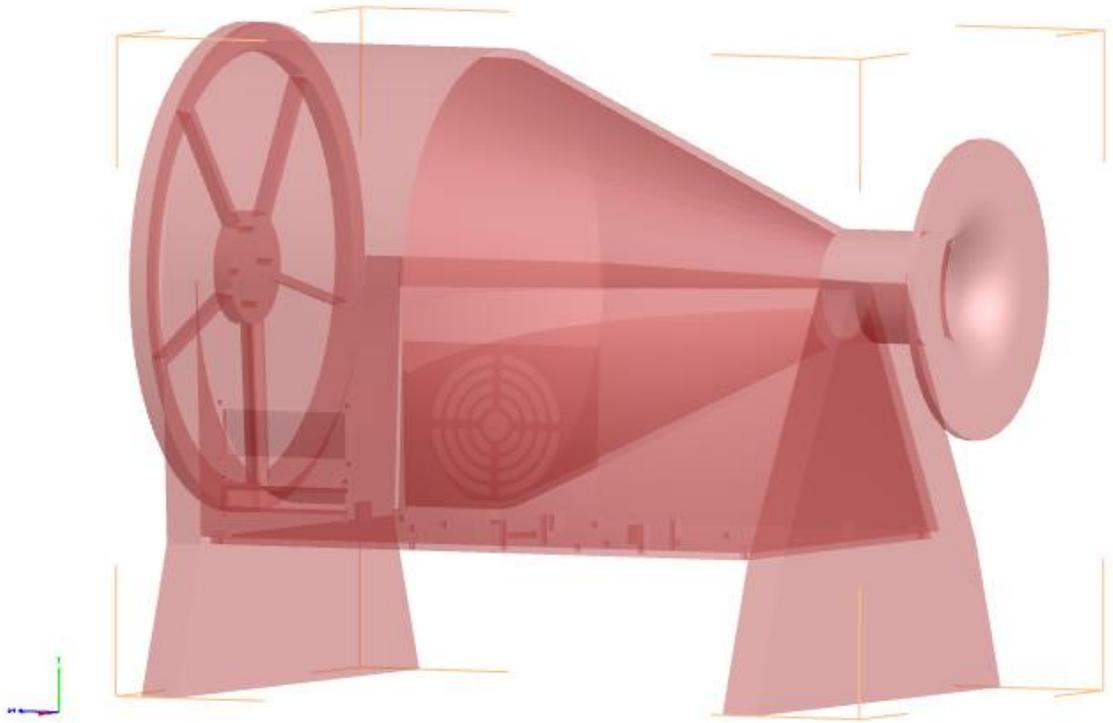


Figura 6. 9. Diseño en el software SolidWorks del prototipo medidor de la calidad del aire.

Vista frontal del prototipo medidor de la calidad del aire

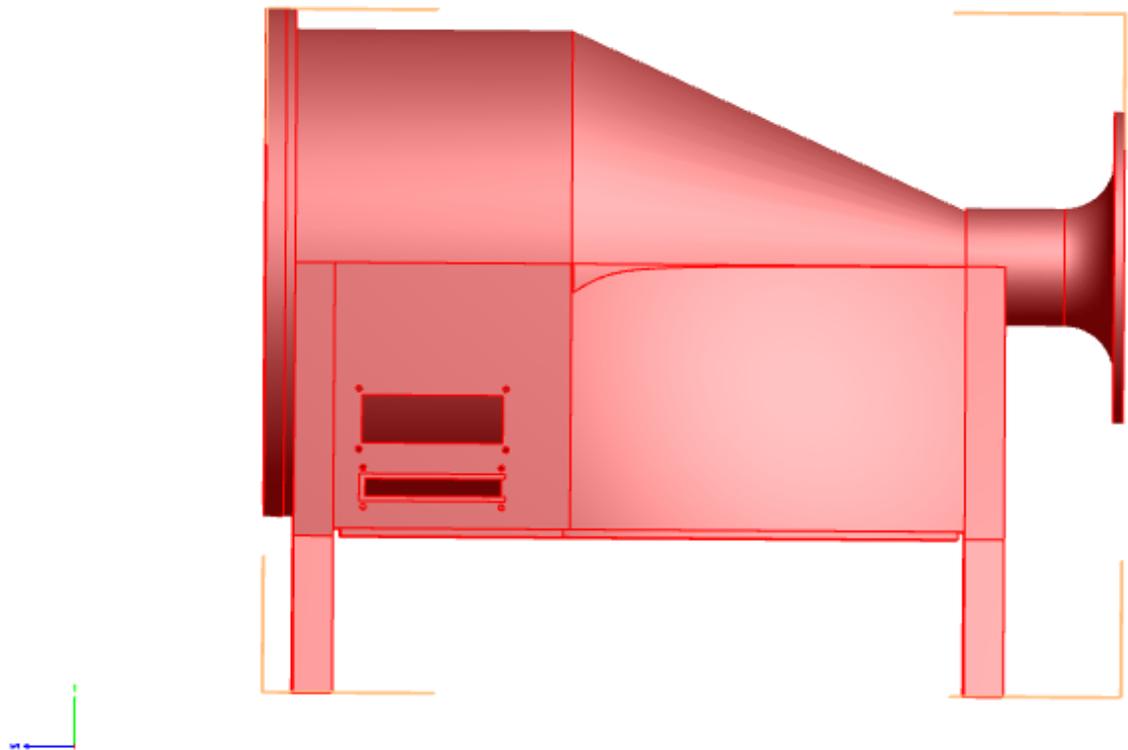


Figura 6. 10. Vista frontal del diseño en el software SolidWorks del prototipo medidor de la calidad del aire.

Vista lateral de prototipo medidor de la calidad del aire



Figura 6. 11. Vista lateral izquierda del diseño en el software SolidWorks del prototipo medidor de la calidad del aire.

Vista lateral derecha del prototipo medidor de la calidad del aire

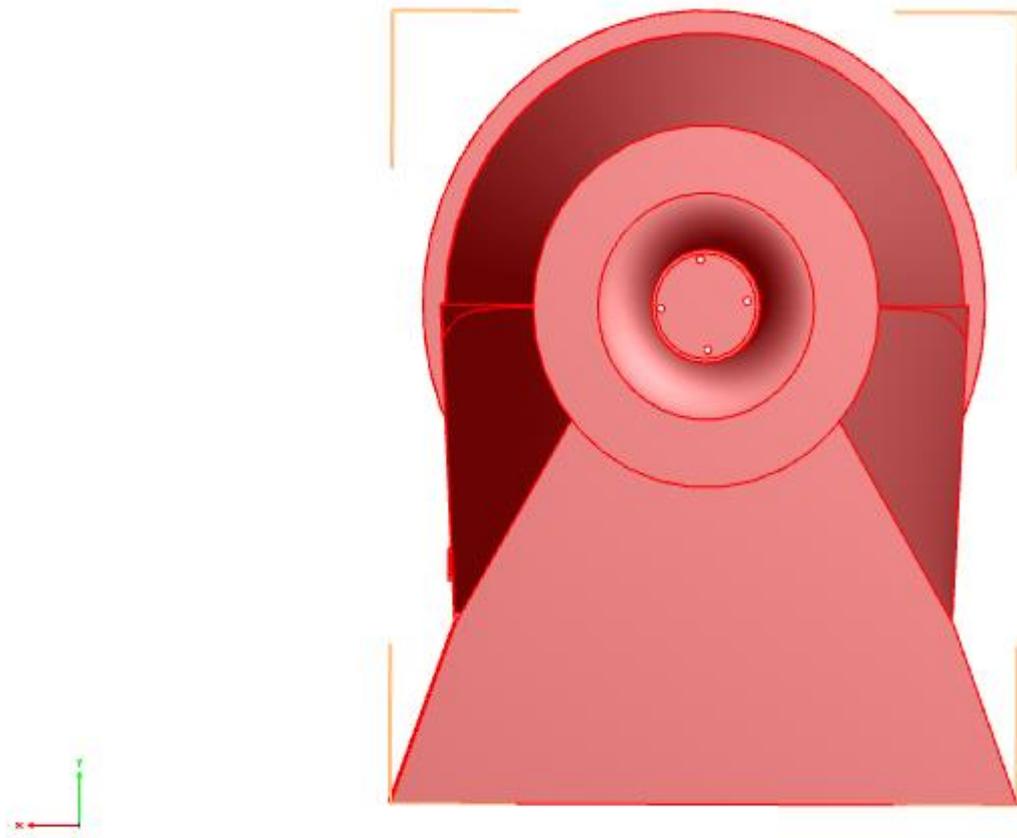


Figura 6. 12. Vista lateral derecha del diseño en el software SolidWorks del prototipo medidor de la calidad del aire.

Vista posterior del prototipo medidor de la calidad del aire

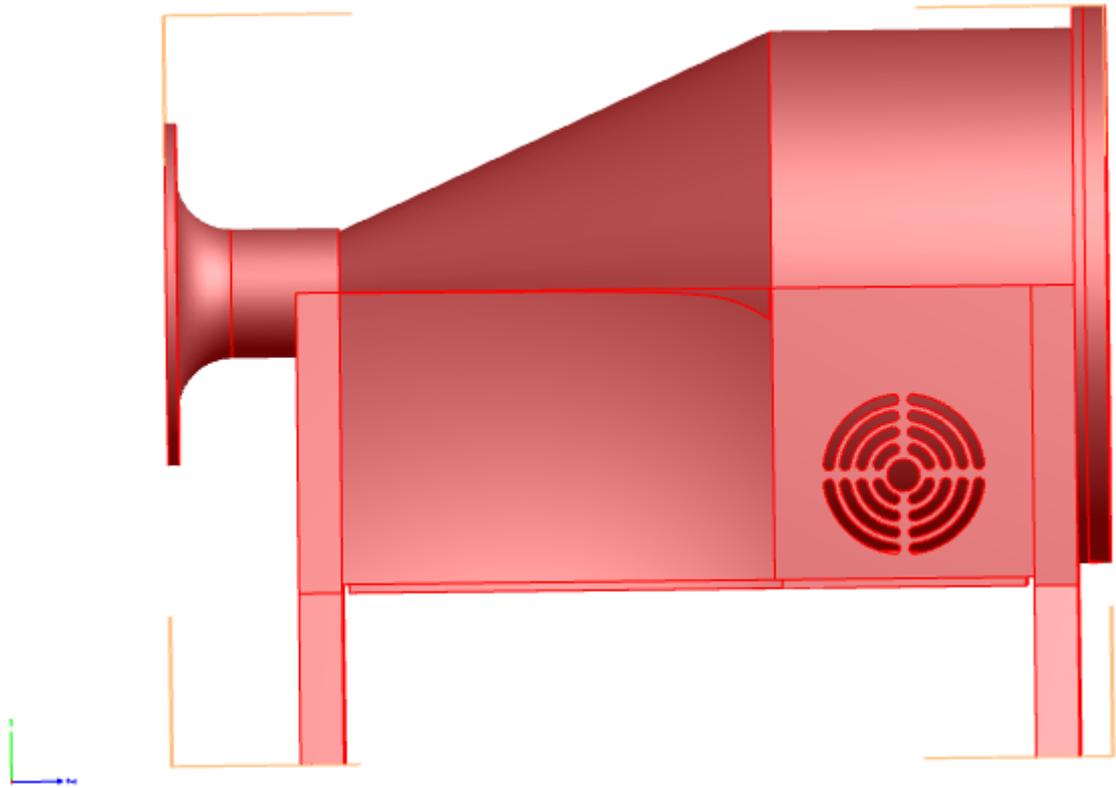


Figura 6. 13. Vista posterior del diseño en el software SolidWorks del prototipo medidor de la calidad del aire.

Vista superior del prototipo medidor de la calidad del aire

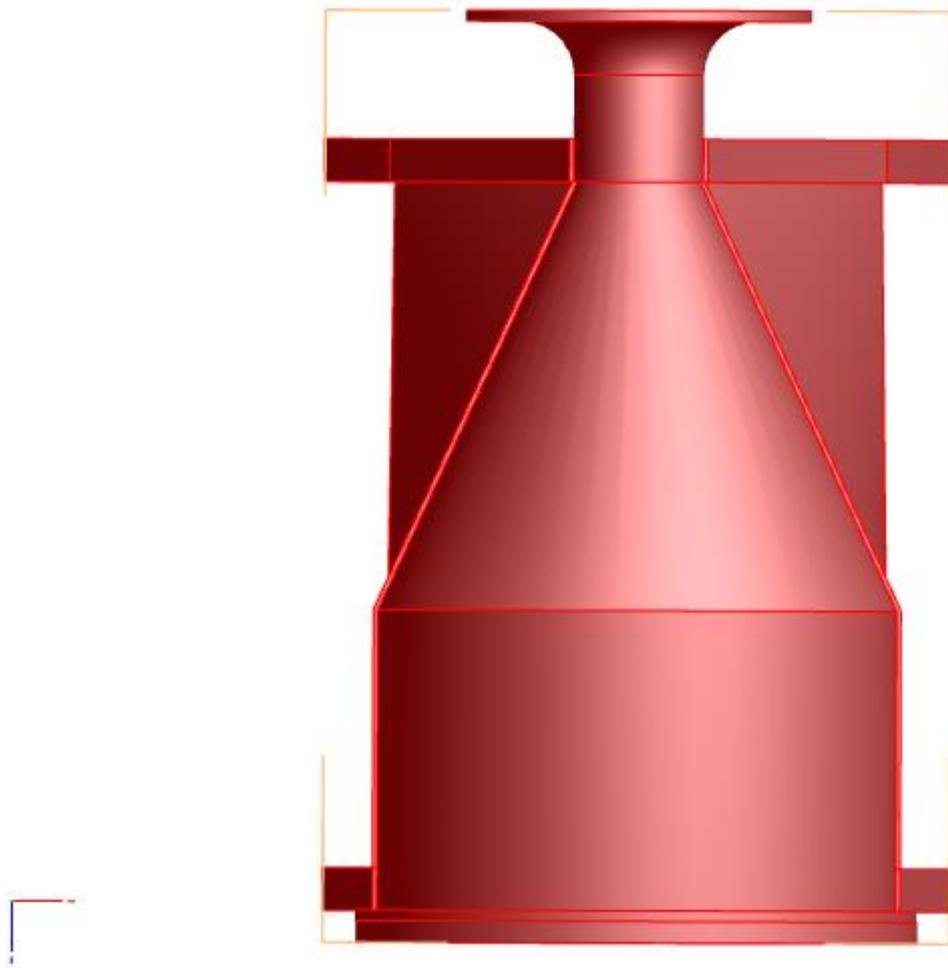


Figura 6. 14. Vista Superior del diseño en el software SolidWorks del prototipo medidor de la calidad del aire.

Vista inferior del prototipo medidor de la calidad del aire

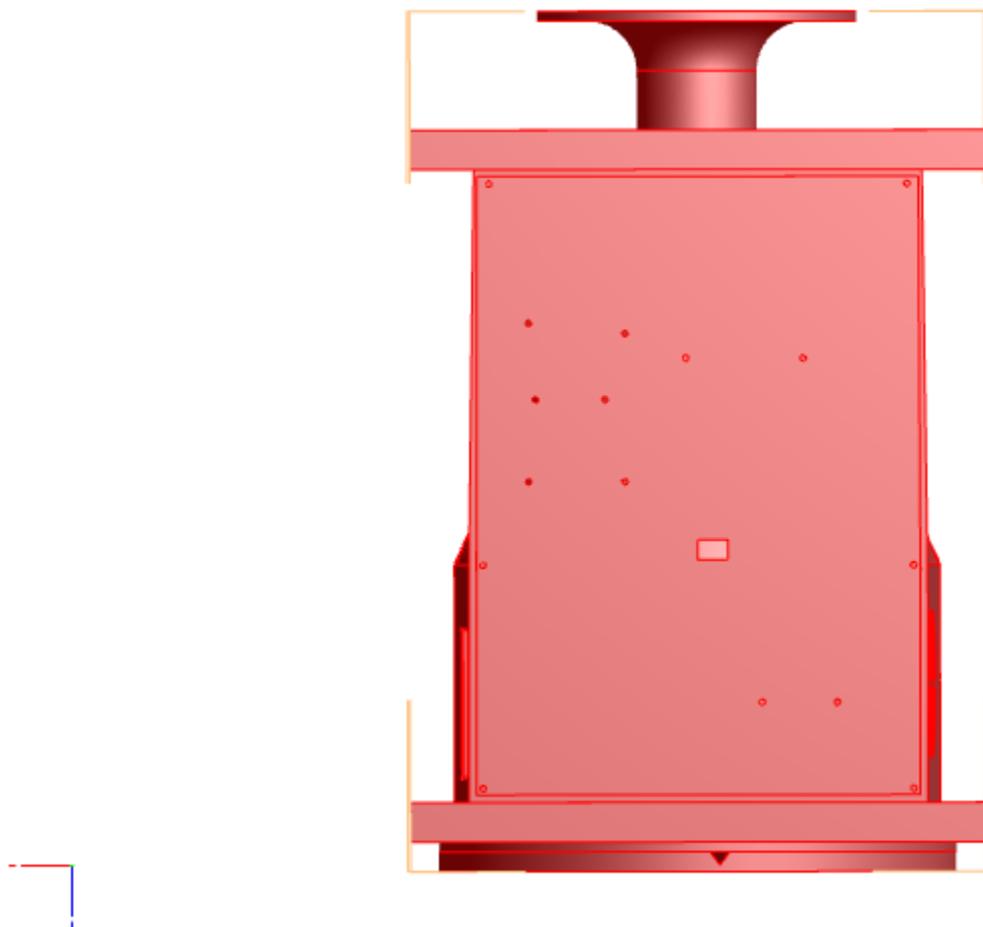


Figura 6. 15. Vista inferior del diseño en el software SolidWorks del prototipo medidor de la calidad del aire.

Al concluir con el diseño del prototipo medidor de la calidad del aire utilizando el software SolidWorks se llevó a cabo la impresión 3D del mismo. El trabajo de impresión se realizó con un material denominado PLA, un políácido láctico, biodegradable y que no emite gases nocivos, lo cual facilita el proceso de impresión 3D. Además, se eligió el color blanco para realizar la impresión del prototipo, pues se trata de un dispositivo que se coloca en el exterior en el momento de llevar a cabo el monitoreo. Como el procedimiento se realiza al aire libre y en condiciones normales de presión y temperatura, el color seleccionado evita que las radiaciones ultravioletas puedan perjudicar al dispositivo de medición.

A continuación se observan las imágenes del prototipo medidor de la calidad del aire para aplicaciones agropecuarias.

Vista frontal del prototipo medidor de la calidad del aire (Figura 6.16.)

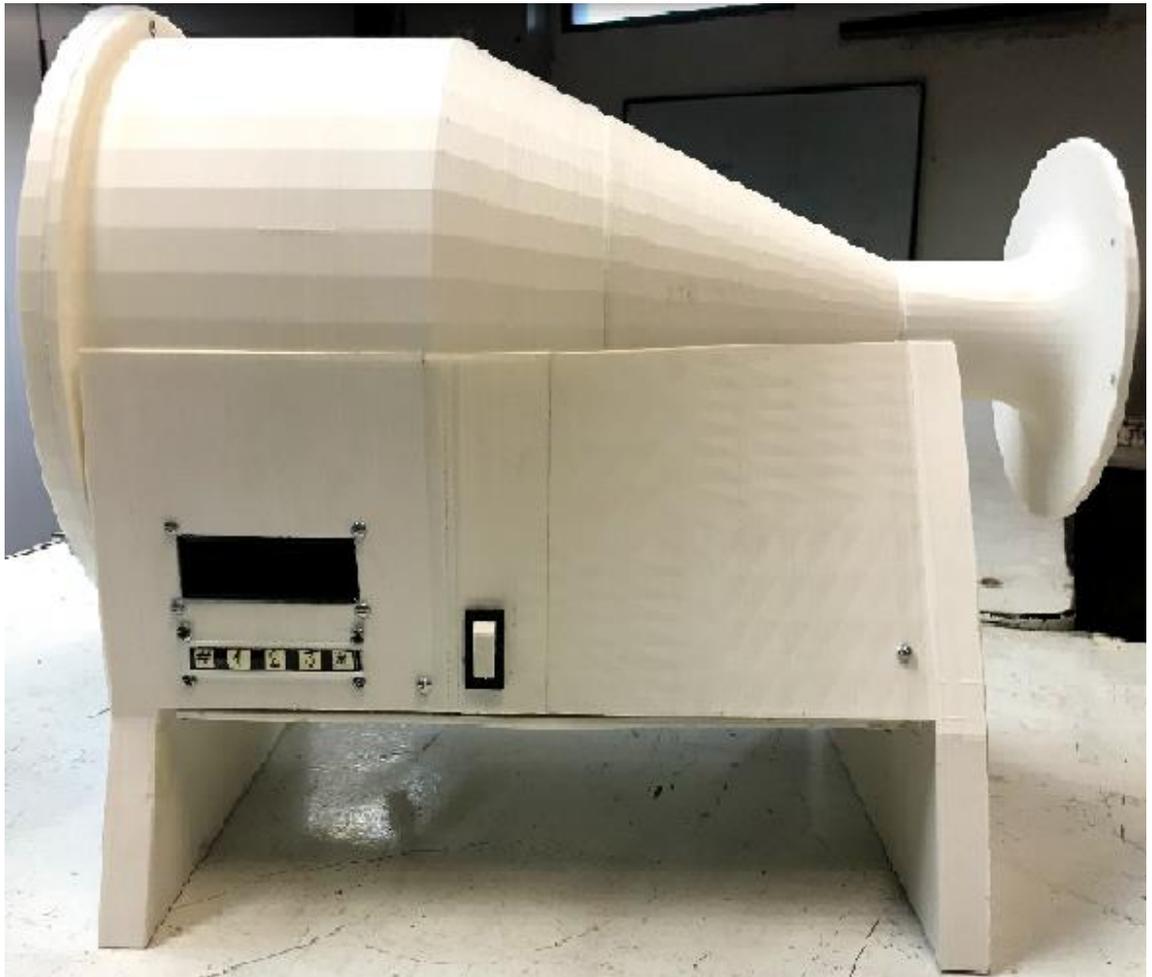


Figura 6. 16. Vista frontal de la impresión 3D del prototipo.

Vista superior del prototipo medidor de la calidad del aire (Figura 6.17.)



Figura 6. 17. Vista superior de la impresión 3D del prototipo.

Vista lateral izquierda del prototipo medidor de la calidad del aire (Figura 6.18.)

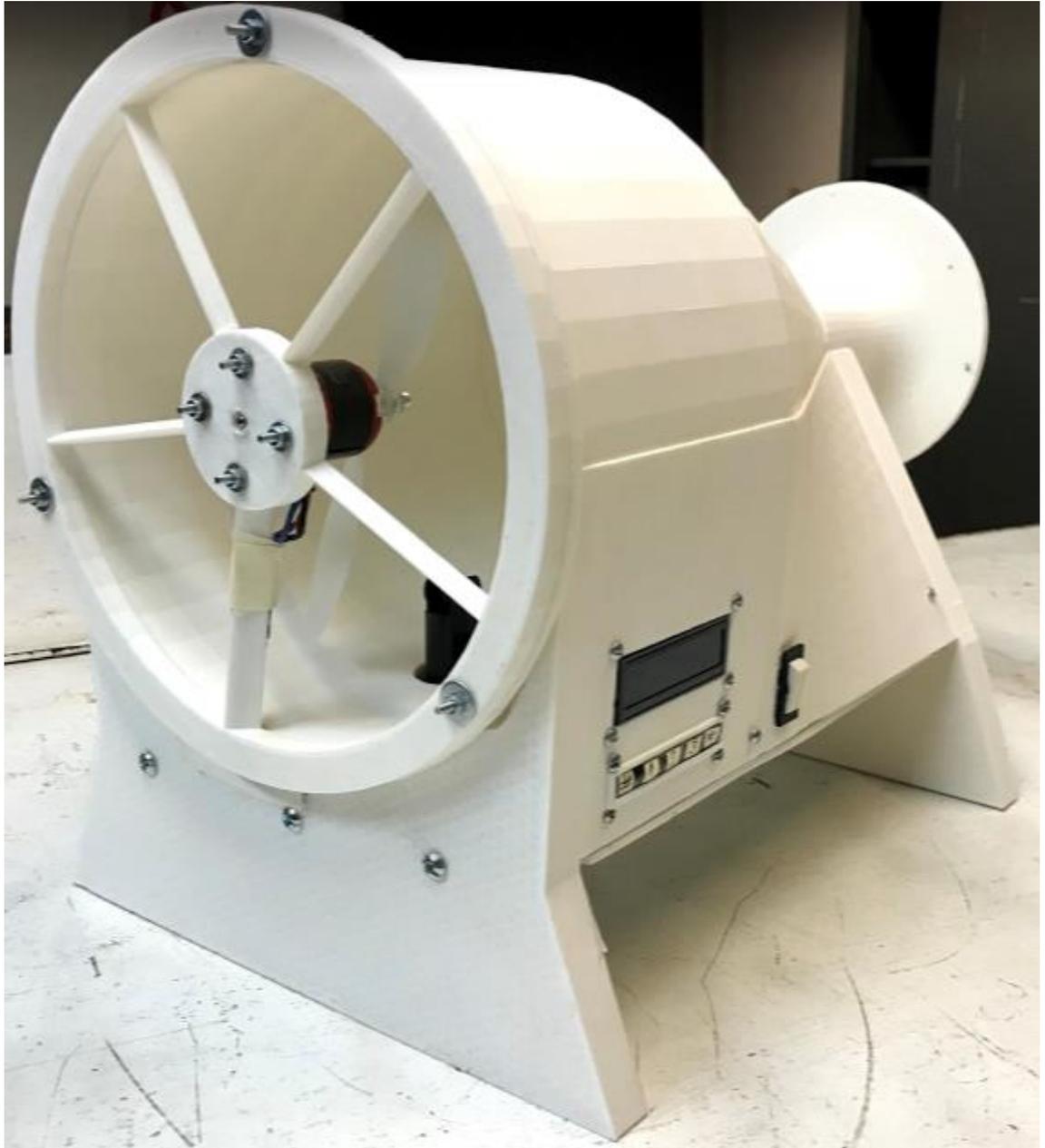


Figura 6. 18. Vista lateral izquierda de la impresión 3D del prototipo.

Vista posterior del prototipo medidor de la calidad del aire (Figura 6.19.)



Figura 6. 19. Vista posterior de la impresión 3D del prototipo.

Vista lateral derecha del prototipo medidor de la calidad del aire (Figura 6.20.)

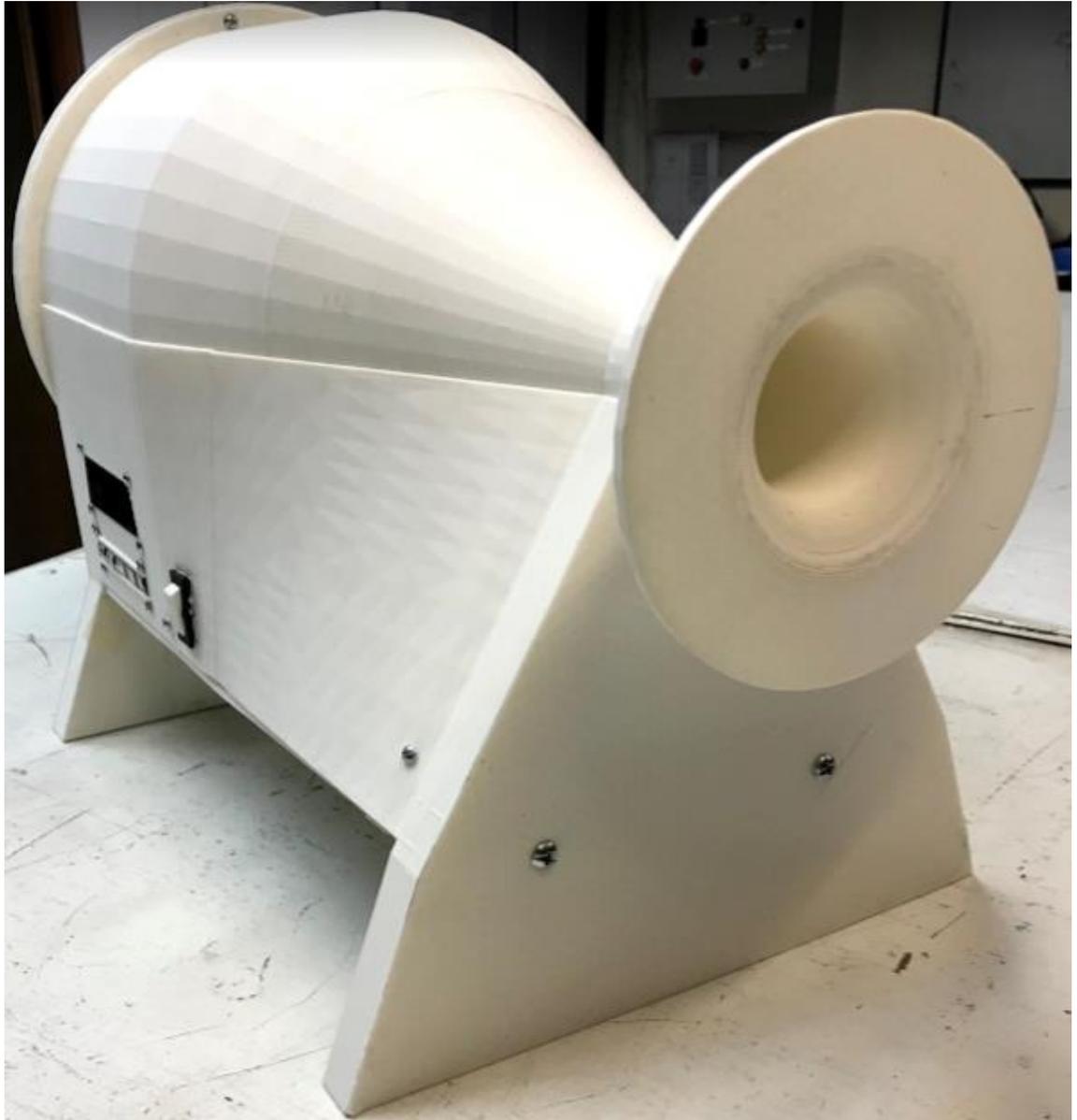


Figura 6. 20. Vista lateral derecha de la impresión 3D del prototipo.

6.4.1.2. MEDIDOR DE VELOCIDAD Y TEMPERATURA

6.4.1.2.1. PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN DE VELOCIDAD Y TEMPERATURA PARA CÁLCULO DE CAUDAL

SENSOR DE FLUJO DE MASA DE AIRE O MAF

El sensor de flujo de masa de aire o MAF, por sus siglas en inglés “Mass Air Flow”, detecta la cantidad de aire que circula a través del mismo, luego el valor del flujo de masa de aire medido por el sensor se traduce en una señal analógica, la cual es recibida por la placa de desarrollo Arduino MEGA 2560, a través de sus pines de entrada analógicos. De esta manera, haciendo uso del software Arduino, se aplica una función para convertir el valor en voltaje (señal analógica de salida del MAF) a un valor con decimales, para luego calcular el valor del caudal de flujo de masa de aire expresado en m^3 .

El sensor de flujo de masa de aire se caracteriza por presentar una estructura robusta, la cual reduce la exposición de los sensores de flujo de masa de aire como el de temperatura ambiente a partículas de polvo y otras suciedades, disminuyendo así la contaminación de los sensores, y mejorando la exactitud de detección y extendiendo la vida útil del sensor.

Los sensores que miden una cantidad o, en general, un flujo gaseoso se llaman también “anemómetros” o “caudalímetros”.

Un sensor MAF está compuesto principalmente por un termistor (*Figura 6.21.*), una resistencia térmica en forma de un fino alambre o una película, en ambos casos de platino, también conocidos como “hilo caliente” o “membrana caliente” respectivamente, y una unidad de control electrónica.

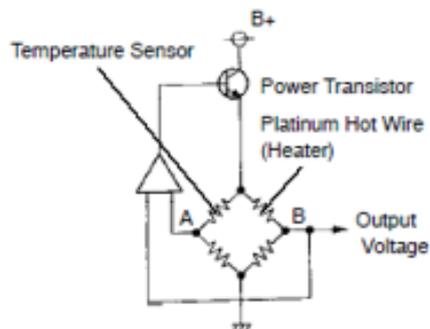


Figura 6. 21. Circuito electrónico de la resistencia térmica del sensor MAF.¹³³

El termistor mide la temperatura del aire que circula a través del sensor MAF (*Figura 6.22.*). El cable de platino es mantenido a una temperatura constante en relación a la temperatura del termistor, el cual es realizado por el circuito de control electrónico. Un incremento en el flujo de aire ocasionará que el cable caliente de platino pierda calor con lo que disminuiría su temperatura, de esta manera, el circuito de control electrónico dentro del sensor compensará esa pérdida de calor del cable al enviar más corriente eléctrica a través del cable para mantenerlo caliente.

¹³³ Imagen extraída del Suplemento del Manual de Toyota Corolla 1129E. TOYOTA MOTOR CORPORATION. Agosto 2, 2004. Aplica a los modelos: Series NDE 120. Capítulo 5, página 55.

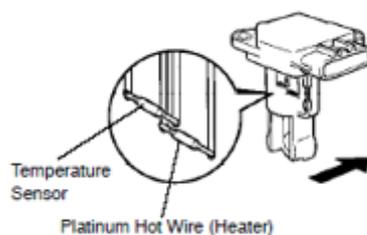


Figura 6. 22. Ubicación de la resistencia térmica del sensor MAF. ¹³⁴

El circuito de control electrónico mide el flujo de corriente con lo que envía una señal de voltaje en proporción al flujo de corriente eléctrica, es decir, entre mayor sea la cantidad de aire que fluye por el sensor MAF, el cable caliente se enfriará con mayor rapidez, en consecuencia el circuito de control electrónico aumentará la corriente eléctrica para calentar más el cable de platino y justo cuando eso suceda, el mismo circuito de control electrónico se encargará de enviarle al software Arduino una señal electrónica de incremento de voltaje; entre más aire circule por el sensor MAF mayor será la señal de voltaje hacia el software Arduino.

El sensor MAF incluye en su cuerpo un sensor de temperatura de aire o sensor IAT, como parte de su carcasa. El sensor IAT está conectado al circuito de control electrónico mediante un cable y una terminal, y se utiliza para detectar la temperatura promedio del aire del ambiente.

Asimismo, para verificar el correcto funcionamiento del sensor MAF se lleva a cabo el siguiente procedimiento: (Figura 6.23.)

- 1- El sensor MAF se alimenta con una fuente de alimentación de 10V a 12V, voltaje que se aplica a las terminales 1 y 2 del sensor.
- 2- Se utiliza un multímetro para medir el voltaje entre las terminales 2 y 3 del sensor, para ello se coloca la pinza positiva del multímetro en la terminal 3 del sensor, mientras que la pinza negativa va conectada al terminal 2 del mismo.
- 3- Se hace circular aire a través del sensor de flujo de masa de aire, y se observa la variación en los valores de voltaje en función de que aumente o disminuya el flujo de masa de aire.

¹³⁴ Imagen extraída del Suplemento del Manual de Toyota Corolla 1129E. TOYOTA MOTOR CORPORATION. Agosto 2, 2004. Aplica a los modelos: Series NDE 120. Capítulo 5, página 55.

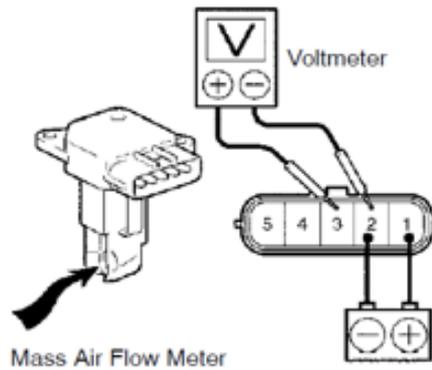


Figura 6. 23 . Inspección del sensor de flujo de masa de aire con un multímetro.¹³⁵

En lo que respecta al sensor de temperatura IAT, también se realiza la inspección del funcionamiento del mismo: (Figura 6.24.)

- Para verificar que el sensor funciona correctamente se utiliza un multímetro en modo óhmetro, y se mide el valor de la resistencia entre los terminales 4 y 5 del sensor MAF. Es necesario verificar que el valor resistivo incremente con la disminución de la temperatura del flujo de masa de aire que circula por sensor MAF.

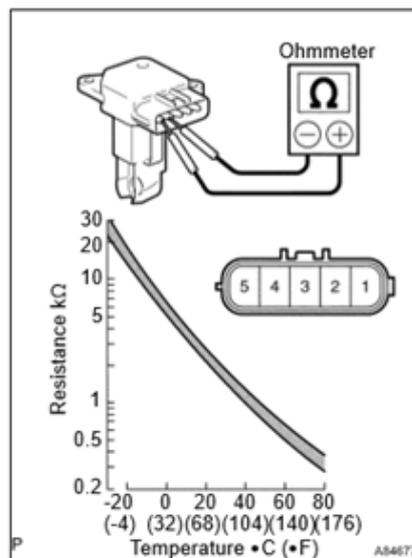


Figura 6. 24 .Inspección del sensor IAT con un multímetro.¹³⁶

SENSOR DE TEMPERATURA IAT

Existen diferentes sensores de temperatura que efectúan diversas mediciones, sin embargo, todos operan de igual forma (Figura 6.25.). La salida del sensor de temperatura

¹³⁵ Imagen extraída del Suplemento del Manual de Toyota Corolla 1129E. TOYOTA MOTOR CORPORATION. Agosto 2, 2004. Aplica a los modelos: Series NDE 120. Capítulo 5, página 62.

¹³⁶ Imagen extraída del Suplemento del Manual de Toyota Corolla 1129E. TOYOTA MOTOR CORPORATION. Agosto 2, 2004. Aplica a los modelos: Series NDE 120. Capítulo 5, página 64.

es una señal de voltaje, la cual, mediante una función determinada, se relaciona con temperatura del flujo del aire ambiente que circula por el sensor.

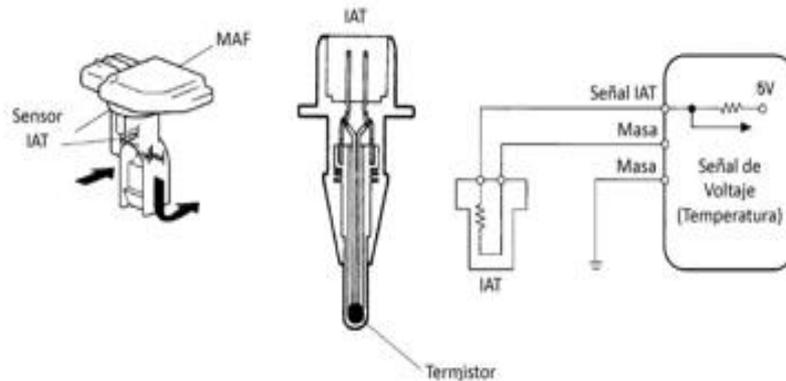


Figura 6. 25. Circuito electrónico del sensor de temperatura IAT. ¹³⁷

Se observa que la señal de tensión del sensor disminuye a medida que la temperatura del aire ambiente aumenta. (Figura 6.26.)

El sensor de temperatura se conecta en serie a una resistencia de valor fijo. Luego, una fuente de alimentación externa, es decir la placa de desarrollo Arduino es quien suministra 5 voltios para el circuito y mide la variación de voltaje entre la resistencia de valor fijo y el sensor de temperatura.

Cuando el sensor está frío, la resistencia del sensor, como la señal de tensión son elevadas. A medida que el sensor se calienta, la resistencia disminuye, por ende disminuye la tensión de la señal. La señal de tensión a la salida del sensor se convierte en una señal de entrada analógica a la placa de desarrollo Arduino MEGA 2560, y haciendo uso del software Arduino es posible determinar la temperatura del flujo de masa de aire que está circulando por la sección donde se encuentra el sensor MAF. Por otro lado, el cable a tierra de los sensores de temperatura está siempre conectado a la placa de desarrollo Arduino. Estos sensores se clasifican como termistores.

¹³⁷ Imagen extraída de la página web [encendidoelectronico.com](https://encendidoelectronico.com/sensores-temperatura/sensores-temperatura-parte-1/). Recuperado de <https://encendidoelectronico.com/sensores-temperatura/sensores-temperatura-parte-1/>

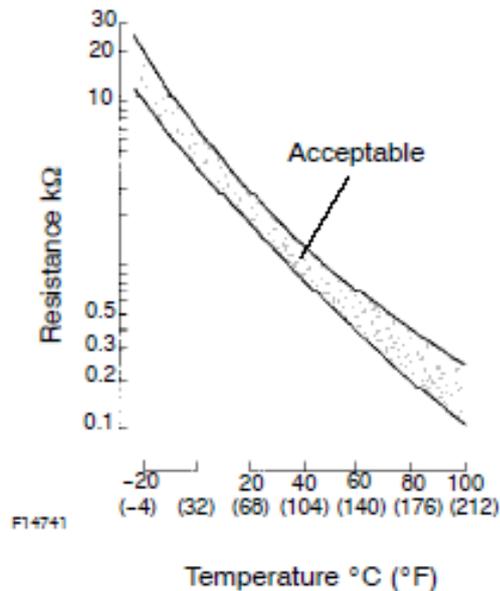


Figura 6. 26. Características de un gráfico de referencia del sensor IAT¹³⁸

SEÑAL ANALÓGICA DEL SENSOR MAF

Una señal analógica es una magnitud que puede tomar cualquier valor dentro de un intervalo $-V_{cc}$ y $+V_{cc}$. Por ejemplo, una señal analógica de tensión entre 0V y 5V podría valer 2,72V, o cualquier otro valor con cualquier número de decimales.

Por norma general en los autómatas las entradas analógicas son más escasas, más lentas y más caras que las entradas digitales. En el caso de Arduino MEGA dispone de 16 entradas analógicas.

Una entrada analógica proporciona una medición codificada en forma de un valor digital con un número N de bits.

Luego, la precisión de una entrada analógica radica en la comprensión del funcionamiento de un conversor analógico digital (ADC), que es su componente fundamental. Un ADC es un dispositivo que convierte una medición analógica en una medición digital codificada con un número de N. Asimismo, el valor analógico medido

En el caso de Arduino Mega, las entradas analógicas disponen de 10 bits de resolución, lo que proporciona 1024 niveles digitales, lo que a 5V supone una precisión de la medición de $\pm 2,44\text{mV}$.

De esta manera, en un conversor analógico digital de 10 bit tenemos una precisión de 4,88mV, lo que supone una precisión relativa respecto a la señal de entrada de 0,1% (1/1024).

La Arduino permite cambiar la tensión tomada como referencia por el conversor analógico digital. El valor de la referencia se cambia con la función AnalogRef, y los valores posibles son:

- DEFAULT: Valor por defecto, correspondiente con V_{cc} , en el caso de Arduino MEGA 2560, el valor de voltaje de V_{cc} es igual a 5V, y es la opción seleccionada para el desarrollo del prototipo del presente trabajo.

¹³⁸ Imagen extraída del Suplemento del Manual de Toyota Corolla 1129E. TOYOTA MOTOR CORPORATION. Agosto 2, 2004. Aplica a los modelos: Series NDE 120. Capítulo 5, página 64.

- INTERNAL: Corresponde a 1.1V.
- EXTERNAL: Voltaje aplicado de forma externa en el pin Vref (entre 0 y Vcc).
- INTERNAL1V1 e INTERNAL2V56, correspondientes a 1.1V y 2.56V.

En lo que respecta al lenguaje de programación aplicado en la placa de desarrollo Arduino, el código para llevar a cabo la lectura utiliza la función AnalogRead (), donde se almacena el valor devuelto.

Luego, el valor devuelto por la función AnalogRead () se codifica como un número entero entre 0 y 1023. De esta manera, para convertir este valor en un valor de tensión se utiliza una función que permite la transformación del valor en voltaje a un valor en decimales.

Una vez aplicada la función para convertir el valor en voltaje a un valor con decimales, se procede a aplicar la fórmula para el cálculo del caudal de flujo de masa de aire que circula por el sensor MAF.

En lo que respecta al cálculo de la temperatura ambiente, el sensor de temperatura IAT, al igual que el sensor MAF, la temperatura ambiente del aire que circula por el MAF se traduce en una señal analógica, la cual es recibida por la placa de desarrollo Arduino MEGA 2560, a través de sus pines de entrada analógicos. De esta manera, haciendo uso del software Arduino, se aplica una función para convertir el valor en voltaje (señal analógica de salida del sensor IAT) a un valor con decimales, que expresa al temperatura ambiente del aire expresado en °C.

ESPECIFICACIONES DEL SENSOR MAF SELECCIONADO PARA EL DISEÑO DEL PROTOTIPO MEDIDOR DE LA CALIDAD DEL AIRE

- Dispositivo seleccionado: Sensor MAF Hellux. Toyota Corolla 1.6-1.8 Vvti Rav4 3.0 (*Figura 6.27.*)



Figura 6. 27. Sensor MAF Hellux.

- Disposición de los pines de salida del conector del sensor MAF seleccionado (*Figura 6.28.*):



Figura 6. 28. Pines de salida del sensor MAF.

- Tabla de pines de salida del sensor MAF (Tabla 6.1.):

Pin	Color cable	Descripción
1	Rojo	Alimentación del Sensor MAF (12 voltios).
2	Negro	Masa o tierra del sensor MAF.
3	Violeta	Señal del sensor MAF.
4	Verde	Señal del sensor IAT.
5	Azul	Masa o tierra del sensor IAT.

Tabla 6. 1. Disposición de los pines de salida del sensor MAF.

6.4.1.3. GENERADOR DE FLUJO

6.4.1.3.1. GENERALIDADES DEL MOTOR

Un motor es la parte sistémica de una maquina capaz de transformar algún tipo de energía (eléctrica, química, potencial, cinética, entre otros) en energía mecánica en forma de rotación de un eje o movimiento alternativo de un pistón.

Los motores presentan características generales, tales como:

- Rendimiento (η): es el cociente entre la potencia útil que generan y la potencia absorbida.
- Velocidad nominal (n): es el número de revoluciones por minuto (rpm o RPM) a las que gira.
- Potencia: es el trabajo que el motor es capaz de realizar en la unidad de tiempo a una determinada velocidad de giro. Se mide normalmente en caballos de vapor (CV), siendo 1 CV igual a 736 Watt.
- Par motor: es el momento de rotación que actúa sobre el eje del motor y determina su giro. Se mide en $\text{kgf}\cdot\text{m}$ o en $\text{N}\cdot\text{m}$, donde 1 $\text{kgf}\cdot\text{m}$ es igual a 9.8 $\text{N}\cdot\text{m}$.
- Estabilidad: tiempo determinado en el cual el motor funciona, sin ningún defecto, a velocidades elevadas, y sin consumir combustible o energía eléctrica.

Existen diversos tipos de motores, según la energía que utilizan o la forma de transformarla. Los tipos de motores más frecuentes son:

- Motores térmicos, es un dispositivo que transforma el calor en energía mecánica en forma de trabajo, por medio de un mecanismo.
 - Motores de combustión interna.
 - Motores de combustión externa.
- Motores eléctricos, es un dispositivo que transforma una corriente eléctrica en energía mecánica en forma de trabajo mediante un mecanismo.

6.4.1.3.2. MOTORES ELÉCTRICOS

Un motor eléctrico es una máquina que, por intermedio de recursos electromagnéticos, transforma energía eléctrica en movimiento o trabajo mecánico.

Un motor eléctrico se caracteriza por estar formado por un número menor de piezas mecánicas en comparación con un motor de combustión interna, lo cual reduce la probabilidad de fallas. En relación con el cambio de estado, inicial o reposo a máximo funcionamiento, como así también, la variación de potencia presenta una mejor reacción frente a las variaciones.

El principio de funcionamiento de un motor eléctrico se explica en función de dos principios: el de inducción (Faraday, 1831) que establece que, si un conductor se mueve a través de un campo magnético o está situado en las proximidades de otro conductor por el que circula una corriente de intensidad variable, se induce una corriente eléctrica en el primer conductor. Y por el principio de Ampere (1820), quien demostró que si una corriente circula a través de un conductor, el cual se encuentra en el interior de un campo magnético, éste ejerce una fuerza mecánica o una fuerza electromotriz, sobre el conductor.

Existe un gran número de clases de motores eléctricos, de los cuales es posible destacar las formas de clasificación más frecuentes:

- Según su carcasa:
 - Abierta.
 - A prueba de goteo (agua).
 - A prueba de explosión.
 - Cerrada.
 - Sumergible.
- Según su ventilación:
 - Ventilados.
 - Autoventilados (presentan un ventilador en su rotor).
- Según su alimentación eléctrica:
 - Corriente Continua o Directa: La corriente no varía con el tiempo.
 - Corriente Alterna: La corriente varía en relación con el tiempo.
 - Universales: La velocidad es variable.

- Según su número de fases en su alimentación:

- Monofásico:

Presentan devanado de arranque y devanado de trabajo.

Inconvenientes relacionados con el arranque.

Tipos: rotor devanado, repulsión, jaula de ardilla, fase partida, fase partida con condensador, polo de sombra e histéresis.

- Bifásico:

Presentan, solamente, devanado de trabajo o régimen.

Tipos: rotor devanado y jaula de ardilla.

- Trifásico:

Presentan, solamente, devanada de trabajo o régimen.

Tipos: rotor devanado y jaula de ardilla.

- Según su forma de sujeción:

- Brida frontal.

- Brida lateral.

Se distinguen, principalmente, tres tipos de motores eléctricos:

- Motores de corriente continua o corriente directa: la conversión de energía en un motor eléctrico se debe a la interacción entre una corriente eléctrica y un campo magnético, el cual se forma entre dos polos opuestos de un imán, se trata de una región donde se ejerce una fuerza sobre determinados metales o sobre otros campos magnéticos. De esta manera, un motor eléctrico utiliza este tipo de fuerza para hacer girar un eje, transformándose, de esta manera, la energía eléctrica en movimiento mecánico.

Un motor eléctrico está formado, principalmente, por el rotor y el estator. El rotor es una pieza giratoria, un electroimán móvil, con varios salientes laterales, que llevan cada uno a su alrededor un bobinado, por el cual circula la corriente eléctrica. Ubicado alrededor del rotor, se localiza el estator, un electroimán fijo, cubierto por un aislante, y con salientes con bobinados eléctricos por los cuales pasa la corriente eléctrica.

Este tipo de motores se caracteriza por presentar el mismo número de polos y carbones en el estator como en el rotor. Los motores de corriente continua pueden ser: serie, paralelo o mixto.

- Motores de corriente alterna: presentan una estructura similar a los motores de corriente continua, sin embargo, se diferencian en la fabricación de los bobinados y el conmutador del rotor. Según su alimentación se clasifican en: monofásico, bifásico o trifásica.
- Motores universales: son aquellos motores que pueden ser alimentados con corriente continua o corriente alterna. Sus características principales no se modifican de manera significativa según si tipo de alimentación.

En corriente continua, se trata de un motor en serie normal. Mientras que, en corriente alterna se comporta como un motor en serie de corriente alterna. De esta manera, al invertir el sentido de la corriente, lo hace tanto en el inductor como en el inducido, con

lo que el par motor conserva su sentido. El valor de potencia disminuye en corriente alterna que en continua, asimismo la corriente está limitada por la impedancia que se forma por el inductor y la resistencia del bobinado. Razón por la cual se observa una caída de tensión por causa de la reactancia al funcionar con corriente alterna, además se observa un aumento de chispas en las escobillas, a causa de que las bobinas del inducido se encuentran atravesadas por un flujo alterno, cuando se ponen en cortocircuito por las escobillas, por lo cual se deben colocar un devanado compensador para contrarrestar la fuerza electromotriz inducida por ese motivo.

Los motores eléctricos están integrados por varios elementos, no obstante, las partes principales son:

- Estator: constituido por un conjunto de láminas de acero al silicio, las cuales facilitan el flujo magnético a través de ellas. El estator corresponde a la base del motor y, si bien, no presenta movimiento mecánico, se mueve magnéticamente. Asimismo, la parte metálica del estator y de los devanados proporcionan los polos metálicos, los cuales son siempre pares, y es preciso un mínimo de dos polos para el funcionamiento del motor. Existen dos tipos de estatores: de polos saliente o rasurado.
- Rotor: es el elemento de transferencia mecánica, responsable de la conversión de energía eléctrica a energía mecánica. Se trata de un conjunto de láminas de acero de silicio que forman un paquete, y pueden ser de tres tipos: ranurado, de polos salientes o jaula de ardilla.
- Carcasa: parte que brinda protección y cubre al estator y al rotor, además, el material de fabricación del mismo depende, fundamentalmente, del tipo de motor, diseño y aplicación.
- Base: se trata del componente que soporta toda la fuerza mecánica de operación del motor. Puede ser una base de tipo lateral o frontal.
- Tapas: son los elementos que sostienen, generalmente, los rodamientos que soportan la acción del rotor.
- Rodamientos: son utilizados para sostener y fijar los ejes mecánicos, reduciendo la fricción, disminuyendo el consumo de potencia.

Motores Eléctricos Brushed – Motores Eléctricos Brushless

Según la presencia o no de escobillas se distinguen dos clases de motores eléctricos: los motores eléctricos brushless o sin escobillas, conocidos como motores conmutados eléctricamente, y los motores eléctricos brushed o con escobillas.

Los motores brushed, que utilizan corriente continua, generan un campo electromagnético, el cual origina la atracción del lado opuesto del rotor, haciendo que se llegue a una posición en donde las escobillas cambian su polaridad, atrayendo nuevamente el rotor al otro lado opuesto, generando un movimiento continuo. Las escobillas conectadas a un colector presentan la corriente eléctrica necesaria para generar el cambio de velocidad. Por esta razón, se denominan motores conmutados mecánicamente.

No obstante, las escobillas se desgastan con el paso del tiempo, provocando rozamientos, entre el rotor y la carcasa del motor, y calentamientos en el motor, lo cual disminuye la vida útil del motor, y deben ser inspeccionadas regularmente y reemplazadas periódicamente. Asimismo, el contacto eléctrico entre las escobillas y las delgas del

conmutador no es ideal y se pueden producir chispas. En relación con la velocidad de giro del rotor, la misma está limitada por la necesidad de mantener un contacto adecuado entre las escobillas y las delgas del conmutador.

Por otra parte, los motores sin escobillas o brushless son máquinas eléctricas con imán permanente en el rotor y bobinas en el estator (tres o un múltiplo de tres fases), alimentadas con un conjunto de tensiones polifásicas alternas (sinusoidales o trapezoidales), generadas por un circuito inversor controlado de forma que las características de operación de la maquina eléctrica emulen las de un motor DC convencional (motor DC con escobillas) en lo referente a las relaciones par/corriente y velocidad angular /voltaje. (Figura 6.29.)

A diferencia de los motores brushed, en los motores brushless el estator se encuentra en el devanado o bobinado, mientras que el rotor contiene la parte imantada. Los imanes de este tipo de motor pueden ser, generalmente, de neodimio cobalto o samario cobalto, sin embargo los más potentes son de neodimio-boro y hierro.

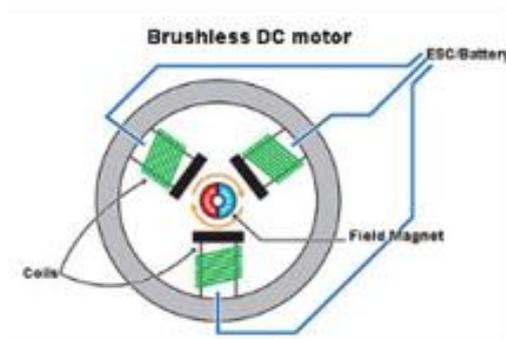


Figura 6. 29. Configuración interna motor DC sin escobillas o brushless.¹³⁹

6.4.1.3.3. CLASIFICACIÓN DE MOTORES BRUSHLESS

Según la ubicación de la parte móvil o rotor, donde se encuentran los imanes permanentes, la parte fija o estator, donde se encuentran los bobinados de hilo conductor, y carcasa, se determinan dos tipos de motores brushless:

- Motor out-runner o de rotor externo: el rotor se ubica alrededor del estator. Es la configuración que beneficia el funcionamiento del motor, además de ser ampliamente utilizada.
- Motor inrunner o de rotor interno: el rotor se ubica en su parte interna. Se caracterizan por alcanzar revoluciones elevadas.

Por otra parte, según el tipo de funcionamiento asistido, los motores brushless se clasifican en:

- Motores brushless sensed (con sensor): utilizan sensores para determinar la posición del rotor, además del variador electrónico de velocidad. Estos sensores le

¹³⁹ Extraída de Enrique Crespo. (s.f.). “Aprendiendo Arduino”. Recuperado <http://www.bvsde.paho.org/bvsci/e/fulltext/intromon/intromon.html>.

envían las señales necesarias al variador de velocidad para regular la tensión adecuada a la bobina correspondiente. El uso de este tipo de sensores radica en que la detección a bajas velocidades puede producir inconvenientes en el proceso de medición, lo cual da lugar a pérdidas de potencia. De esta manera, la potencia está regulada constantemente, lo cual se denomina sincronización con el variador de velocidad.

- Motores brushless sensorless (sin sensor): el variador electrónico de velocidad analiza las señales, y determina la tensión a enviar a las bobinas. Sin embargo, no presenta una precisión adecuada, y a bajas velocidades su detección puede fallar, ocasionando pérdidas de potencia en el sistema.

6.4.1.3.4. FUNCIONAMIENTO DE MOTORES BRUSHLESS

En los motores brushless la corriente eléctrica pasa directamente por las bobinas dispuestas en el estator, razón por la cual no son necesarias las escobillas ni el colector utilizados en los motores con escobillas para llevar a cabo el cambio de polaridad en el rotor. De esta manera, la corriente eléctrica genera un campo electromagnético que interacciona con el campo magnético creado por los imanes permanentes del rotor, para que el motor gire es necesario que los bobinados generen un campo magnético perpendicular a la dirección del campo magnético de los imanes permanentes, en estas condiciones el par generado es máximo, el cual debe mantenerse en ese valor en todo momento. Asimismo, cuando el rotor inicia su movimiento de giro, la dirección del rotor varía en cada instante, por lo cual será necesario determinar la posición en la que se encuentra el rotor, para poder excitar las bobinas que corresponden para lograr el par máximo en ese instante determinado.

Estos motores se relacionan directamente con variadores electrónicos de velocidad o ESC. El variador dirige la tensión de alimentación a las bobinas de forma secuencial, de este modo, los polos del rotor se mueven según el campo magnético generado por las bobinas de forma secuencial. De esta manera, la velocidad del rotor, depende de la velocidad de secuenciación del variador. Asimismo, el variador aumenta o disminuye la tensión de alimentación de las bobinas para obtener el máximo rendimiento del motor brushless.

6.4.1.3.5. SEÑAL POR MODULACIÓN POR ANCHO DE PULSO

El motor se alimenta con una señal PWM que regula el voltaje promedio de entrada cambiando así su velocidad de giro, de modo que, cuando el motor opera a máxima velocidad, el ciclo útil del PWM será del 100%, mientras que, cuando el motor trabaja a mitad de la velocidad máxima, el ciclo útil del PWM será de 50%.

La modulación por ancho de pulso consiste en una señal de voltaje con una determinada frecuencia que consta de dos valores fijos de tensión: uno alto (HIGH), que es la amplitud, y otro bajo (LOW), que es el valor nulo. Utilizada para enviar información o para modificar la cantidad de energía que se envía a una carga.

Este tipo de señales son de tipo cuadrada o sinusoidales, en las cuales se modifica el ancho relativo en relación con el periodo de la misma, el resultado de esta modificación se denomina ciclo de trabajo y sus unidades se representan en termino de porcentaje (*Figura 6.30.*)

$$D = \frac{\tau}{T} \times 100\%$$

D = Ciclo de trabajo.

τ = Tiempo en que la señal es positiva.

T = Período.

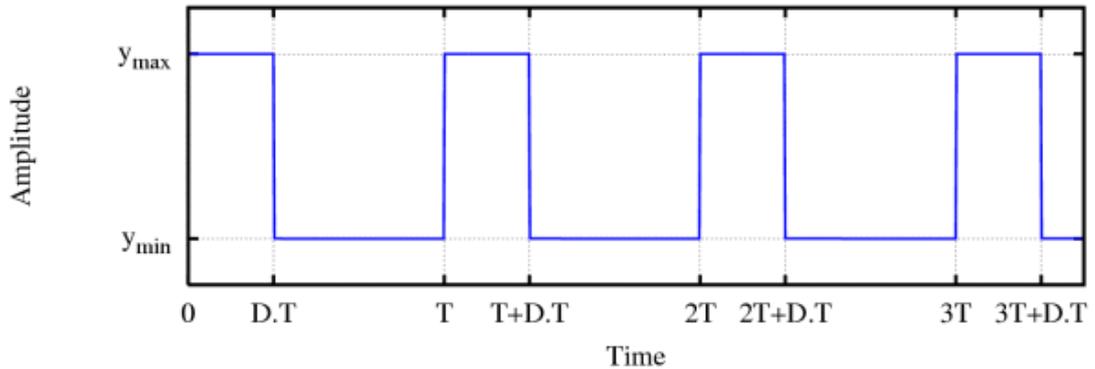


Figura 6. 30. Señal de modulación por ancho de pulso.¹⁴⁰

Para emular una señal analógica se cambia el ciclo de trabajo de manera tal que el valor promedio de la señal sea el voltaje aproximado que se desea obtener, pudiendo entonces enviar voltajes entre 0[V] y el máximo que soporte el dispositivo PWM utilizado, en el caso de Arduino es 5[V].

De esta manera, el PWM es una técnica que consiste en variar el ancho de pulso de una señal de voltaje cuadrada con el objetivo de controlar la calidad de potencia administrada a los componentes o elementos electrónicos conectados.

El voltaje contra inducido es el resultado de energizar dos de los tres devanados de la configuración del motor, en el cual los campos magnéticos producidos por estos, afectarán al tercer devanado desconectado e inducirán en éste una forma de voltaje de acuerdo al movimiento del rotor. Mientras este voltaje crece o decrece, según sea el caso, existirá un único devanado en el cual lo que se está midiendo será igual al voltaje en el neutro del motor, punto conocido como cruce por cero que representa el valor nulo de la señal de voltaje contra inducida.

Al tener un valor nulo el voltaje contra inducido, el voltaje medido en la terminal desconectada corresponde al valor del voltaje de neutro del motor, lo que significa que no hay voltaje inducido en el devanado, o que esto sólo ocurre cuando el rotor se encuentra pasando exactamente por la mitad del giro que debe recorrer.

Adicionalmente, existe un parámetro elemental a considerar, el factor “Kv”, el cual se presenta, generalmente, junto al número de vueltas del bobinado del motor, e indica el número de revoluciones por minuto a las que puede girar el motor por cada voltio de electricidad que se le aplica. Asimismo, un incremento en el valor Kv resulta directamente

¹⁴⁰ Extraída de Jesús Abellán. 21 de Febrero, 2016. EL RINCÓN DE MAXWELL “Modulación por ancho de pulso (PWM)”. Recuperado <https://elrincondemaxwell.wordpress.com/2016/02/21/modulacion-por-ancho-de-pulso-pwm/>.

proporcional al incremento del valor de la velocidad, sin embargo, disminuye el valor del par motor; y viceversa.

6.4.1.3.6. INTERPRETACIÓN DE LA NOMECLATURA DE LOS MOTORES BRUSHLESS

Cada motor eléctrico brushless presenta una numeración que se corresponde con las características esenciales del mismo, y que define su comportamiento y capacidades.

Las cuatro primeras cifras se leen de dos en dos y se corresponden con la longitud del motor expresada en milímetros y con su altura, también en milímetros.

Las cuatro cifras siguientes se corresponden con los KV o kilo volt, se trata de una característica física que define la calidad de un motor.

El valor de KV, depende de varios factores, tales como:

- Numero de espiras.
- Diámetro del hilo de cobre utilizado en el bobinado.
- Potencia de los imanes.
- Geometría del motor.

El valor expresado en KV se refiere a la constante de revoluciones de un motor, es decir, el número de revoluciones por minuto (rpm) que será capaz de ofrecernos cuando se le aplique 1V de tensión. Cabe destacar que el fabricante expresa este valor en función del valor calculado sobre un banco de pruebas, razón por la cual no es valor real sino teórico, el cual varía durante el funcionamiento del motor.

De lo expuesto anteriormente, es posible analizar la nomenclatura del motor seleccionado para el desarrollo del prototipo medidor de la calidad del aire: Motor eléctrico brushless HD-3536. (*Figura 6.31.*)

- Dimensiones del motor brushless: 35 mm de longitud y 36 mm de altura.
- Kv (RPM/V): 1520 RPM/V.
- Alimentación:
 - Batería Ni-Mh /Ni-Cd (celdas): 6-9 celdas.
 - Batería de polímero de litio (celdas): 2-3 celdas.
- Otras especificaciones:
 - Máxima corriente permitida (A): 42 A.
 - Corriente de funcionamiento (A): <38 A.
 - Potencia continua máxima (W): 420 W.
 - Peso (gramos): 95 gramos.
 - Diámetro del eje (mm): 4 mm.
 - Sin corriente de carga (7.4V): 1.5 A.
 - Corriente máxima: 55 A.
 - Potencia: 550 W.

- Resistencia: 207 Ω .
- Diámetro del adaptador: 6.0 mm.
- Diámetro del eje del motor: 4.0 mm.
- Máximo empuje: 1.1 kg.

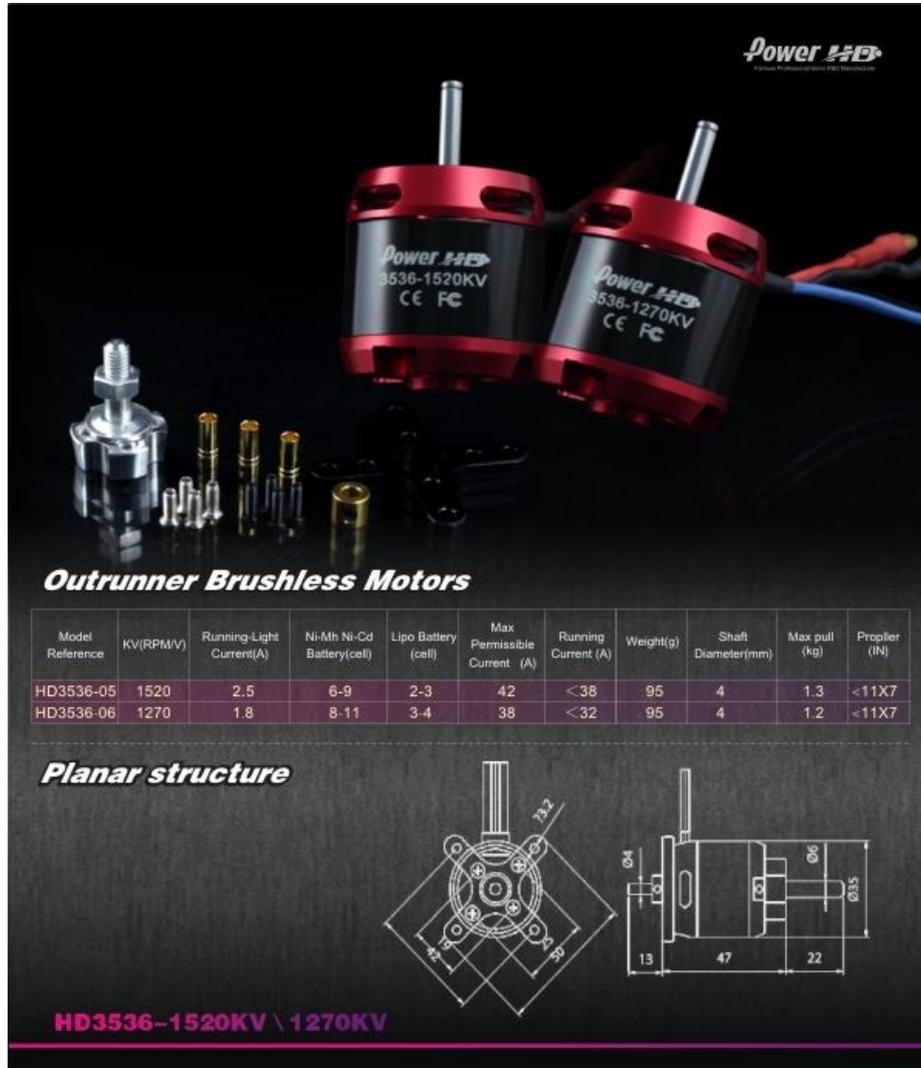


Figura 6. 31. Hoja de datos del motor eléctrico brushless HD3536-1520Kv/1270Kv. ¹⁴¹

6.4.1.3.7. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE MOTORES BRUSHLESS

Los motores brushless presentan determinadas ventajas respecto de los motores brushed, tales como:

- Mayor rendimiento (mejor rendimiento de las baterías a igual potencia).
- Relación velocidad/par del motor es prácticamente constante.

¹⁴¹ Extraída de [Página de comercialización de componentes relacionados con el modelismo de maquetas (aviones, barcos, camiones, entre otros), pinturas y materiales para modelismo y colecciones de vehículos, aviones, entre otros; llamada hobbymodelismo.es]. (s.f.). Recuperado <http://www.hobbymodelismo.es/motor-brushless-3536-06-1270kv-p-197676.html>

- Mayor eficiencia (mínimas pérdidas de calor).
- Menor peso a igual potencia.
- Mejor disipación de calor.
- Menor ruido electrónico.
- Mínimo mantenimiento (sin escobillas).
- Mayor potencia a igual tamaño.
- Elevado rango de velocidad (no presentan limitaciones mecánicas).

Sin embargo, es necesario un circuito electrónico para poner en marcha el funcionamiento del motor, el cual encare el costo del motor.

6.4.1.4. CONTROLADOR ELECTRÓNICO DE VELOCIDAD

El variador electrónico de velocidad o ESC (Electronic Speed Controller, por sus siglas en inglés) es un dispositivo electrónico, formado por un circuito electrónico controlado por un microcontrolador, cuya función es monitorizar la velocidad del motor eléctrico brushless.

El variador es un controlador por Modulación por Ancho de Pulsos (PWM) que controla la velocidad del motor eléctrico de manera más eficiente en comparación con los motores de tipo mecánico. Asimismo, se utilizan normalmente en motores eléctricos para proporcionar una corriente trifásica de bajo voltaje y que proporciona la energía al motor. El variador o ESC recibe una señal PWM de 50 Hz con variaciones de 1 a 2 milisegundos, de esta manera, dependiendo de la longitud del ancho de pulso se entregará mayor o menor potencia al motor. Por consiguiente, y de manera aproximada, cuando el ESC recibe una señal PWM de 50 Hz a 1 milisegundo, el motor está parado, a 1.5 milisegundos el motor funcionará a la mitad de su potencia y a 2 milisegundos el motor funcionará a máxima potencia. Es importante destacar, que el pulso mínimo es de 1 milisegundo y no de 0 milisegundo para evitar posibles errores en la transmisión, tales como interferencias.

El variador, generalmente, presenta un par de conectores para la conexión a la batería de polímero de litio, es decir la entrada de alimentación del motor; por otro lado, tres conectores que se dirigen al motor (3 cables de trifásica para la alimentación del motor brushless), y un conector de tres pines: cables rojo y negro para la alimentación del variador, y el cable blanco/amarillo para la señal PWM 50 Hz (protocolo de comunicación), es la manera que presenta de comunicarse el variador y el circuito de programación, mediante la cual el variador controla la velocidad de motor eléctrico. En general, los variadores incorporan un sistema BEC (circuito eliminador de voltaje), mediante el cual, llevan a cabo dos operaciones, recoger información relacionada con la velocidad del motor (aceleración) y ajustar un voltaje estable que permite el funcionamiento del receptor o de la placa de desarrollo con el microcontrolador, como así también otros componentes electrónicos. De esta manera, no es necesario agregar otras baterías para alimentar estos componentes electrónicos. Sin embargo, cuando se trabaja con baterías de mayor voltaje, tales como una batería de polímero de litio de 4 celdas o una batería de Ni-Cd de más de 12 celdas, o los componentes electrónicos adicionales demandan una mayor potencia, es necesario el reemplazo de un BEC por un UBEC. El UBEC es un interruptor regulador en corriente continua, separado del variador del motor brushless, cuya función es convertir el voltaje que proviene de la batería en una tensión segura y constante para el receptor o placa de desarrollo con el microcontrolador, como

así también otros componentes electrónicos. De esta manera, brinda protección frente a sobrecalentamientos y el flujo elevado de corriente con una eficiencia que llega al 90%.

Es necesario programar el variador, para ajustar su comportamiento. Luego, el firmware de los ESC corresponde, básicamente, al software que lleva instalado el variador, el cual se encarga de su funcionamiento. El mismo determina su configuración y su rendimiento en función de varios parámetros. Sin embargo, no todos los software que manejan físicamente al hardware (comúnmente llamados firmware) pueden ser utilizados en cualquier variador. Algunos precisan de un componente de hardware específico para su instalación. Son ejemplos de firmware el BLHeli_S, BLHeli_32, SimonK y Kiss, entre otros. En la actualidad, los variadores se comercializan con el firmware instalado. Asimismo, se debe prestar atención a posibles actualizaciones que lleve a cabo el fabricante.

Cabe destacar que, el variador que utiliza para un motor eléctrico brushless o sin escobillas, es diferente de aquel que se utiliza para un motor eléctrico brushed o con escobillas. Asimismo, en la práctica es posible diferenciarlos por el número de cables que lo componen: para motores brushless llevan 3 cables, mientras que los motores brushed llevan 2 cables.

El variador que se utiliza para controlar la velocidad del motor brushless crea una corriente alterna trifásica a partir de la corriente continua que procede de la batería. De esta manera, a través de uno de los polos, proveniente de uno de los tres conectores que se dirigen al motor, se genera un pequeño voltaje proporcional a la velocidad de giro del motor, denominado fuerza electromotriz. Este voltaje le permite al ESC determinar la velocidad y dirección de giro del motor en cualquier instante, lo cual le permite al variador analizar de qué manera envía la corriente a los electroimanes del motor, para que gire el motor.

Adicionalmente al circuito eliminador de voltaje o BEC, el variador puede de tipo lineal o variable. Un variador lineal emplea resistores con el objetivo de disminuir el voltaje que entrega la batería de polímero de litio, lo cual permite que la placa de desarrollo sea alimentada correctamente, y no se queme por el elevado voltaje de la batería. Cabe destacar que a medida que la batería incrementa su número de celdas, aumenta el voltaje que suministra, luego la placa de desarrollo consume mayor energía, generando calor al circular la corriente por los resistores, es decir que si la corriente es elevada, los resistores se calentarán dañando el BEC. Una opción para solucionar el problema planteado anteriormente, es la utilización de un variador de tipo variable, el cual cambia su valor de voltaje con una alta frecuencia, logrando disminuir la tensión de manera efectiva, evitando la generación de calor.

6.4.1.4.1. FACTORES A CONSIDERAR PARA LA SELECCIÓN DE UN VARIADOR ELECTRÓNICO DE VELOCIDAD

Para determinar cuál es el variador adecuado para un motor eléctrico brushless, es necesario considerar dos factores:

- Amperaje o intensidad eléctrica que soportan los variadores electrónicos de velocidad: cada variador electrónico de velocidad cuenta con una hoja de datos en la cual se índice el amperaje máximo que puede soportar. Razón por la cual se debe seleccionar un variador electrónico de velocidad que admita un amperaje mayor que el del motor a utilizar en su máxima potencia, cuando el mismo llega a su máxima potencia. Caso contrario, si se selecciona un motor eléctrico cuyo consumo de

corriente eléctrica es superior al que es capaz de soportar el variador electrónico de velocidad, provocará un exceso de calor, quemando el variador.

- Consumo del motor en su máxima potencia: cada variador electrónico de velocidad presenta una hoja de datos con las especificaciones del mismo, tales como la potencia, el tamaño y pitch de la hélice, el voltaje definido según el número de celdas de la batería a utilizar y la intensidad eléctrica máxima, entre otros. Para escoger el variador adecuado es necesario seleccionar aquel que presente un valor de intensidad eléctrica igual o levemente superior al valor de intensidad máxima que figura en la hoja de datos del motor eléctrico brushless elegido.

Variador electrónico de velocidad seleccionado para la construcción del prototipo medidor de la calidad del aire:

- Variador HOBBYWING SKYWALKER Airplane 50A UBEC Brushless Speed Controller. (*Figura 6.32.*)

Especificaciones:

- Modelo: SKYWALKER 50A-UBEC.
- Corriente continua: 50A.
- Corriente de ruptura (>10S): 65 A.
- Modo BEC: Switch.
- Salida del BEC: 5V / 3 A.
- Capacidad de salida del BEC (2S LiPo): 5 servos.
- Capacidad de salida del BEC (3S LiPo):5 servos.
- Capacidad de salida del BEC (4S LiPo):5 servos.
- Cantidad de celdas de la batería (LiPo): 2-4S.
- Cantidad de celdas de la batería (NiM, NiCd): 5-12 celdas.
- Peso: 43gramos.
- Tamaño (largo x ancho x alto):65 x25 x 12mm.



Figura 6. 32. Variador electrónico de velocidad-ESC-50 A con BEC.¹⁴²

6.4.1.5. MICROCONTROLADOR

6.4.1.5.1. PROGRAMA ARDUINO

Para llevar a cabo la programación del prototipo que permite evaluar cualitativamente la calidad del aire, en especial en aplicaciones agropecuarias, se utilizó el software ARDUINO, con el uso de una placa de desarrollo Arduino MEGA 2560, como se observa en la *Figura 6.33*.



Figura 6. 33. Placa de desarrollo Arduino MEGA 2560.¹⁴³

De esta manera, el desarrollo del programa necesario para llevar a cabo el monitoreo aéreo se llevó a cabo de la siguiente manera:

En el inicio del programa se declararon las librerías y variables necesarias para la programación del prototipo medidor de la calidad del aire, tales como:

¹⁴² Figura extraída de Página web mercadolibre.com.mx. (s.f.). Recuperado de https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-626318990-esc-variadores-drone-30-amperes-_JM

¹⁴³ Imagen extraída de la página web www.arduino.cc. Recuperado de <https://store.arduino.cc/arduino-mega-2560-rev3>.

- Librerías para la lectura del teclado matricial, como la librería para el uso del display LCD.
- Variables relacionadas con el funcionamiento del motor eléctrico brushless, variables relacionadas con el funcionamiento del sensor de flujo de masa de aire, variables relacionadas con el tiempo de monitoreo, variables utilizadas en el cálculo de la temperatura ambiente del aire monitoreado y los valores fijos necesarios en el circuito del termistor NTC del MAF y variables relacionadas con el teclado matricial.

Por otro lado, se llevó a cabo la programación del teclado matricial a utilizar, a través del cual el operador da la orden de inicio, pausa y finalización del monitoreo aéreo.

Además, se programan las leyendas a mostrar durante el monitoreo aéreo, tales como:

- Leyenda de bienvenida al sistema de monitoreo de contaminantes atmosféricos para aplicaciones agropecuarias.
- Leyenda que informa las variables a medir: Caudal de flujo de masa de aire y Temperatura ambiente.
- Velocidad, previamente establecida, del motor eléctrico brushless, con el objetivo de optimizar su funcionamiento.
- Tiempo total de monitoreo expresado en minutos, de acuerdo al volumen total preestablecido en función de las mediciones que se llevaron a cabo y el volumen de flujo de masa de aire que monitorean habitualmente los equipos que se comercializan en la actualidad.
- Orden de inicio, pausa y finalización del monitoreo aéreo.

En la segunda parte del programa de Arduino, para evaluar cualitativamente la presencia de un plaguicida determinado es necesario definir el caudal de flujo de masa de aire que circula por el prototipo durante un tiempo determinado, como así también la temperatura ambiente del aire a monitorear.

Como se trata de un prototipo medidor de la calidad del aire, que busca reducir el periodo de monitoreo, en comparación con los equipos que se comercializan actualmente, se toma como referencia el volumen del flujo de masa de aire total que circula normalmente por un equipo en la actualidad, cuando se lleva a cabo el monitoreo de la calidad del aire por un periodo de 24 horas. De lo expuesto anteriormente, se explica que el volumen total a monitorear se programa previamente por software, como así también un promedio del tiempo que dura el monitoreo, ya que se evalúa el rendimiento del motor y el flujo de masa de aire que circula por el prototipo a diferentes velocidades del motor, y mediante la fórmula de cálculo del caudal se procedió a la caracterización de la curva en función de los datos obtenidos de la medición del caudal de masa de aire, que circula por el prototipo, en especial por el sensor del MAF, y la variación de la señal de voltaje del sensor MAF.

De esta manera, una vez iniciado el monitoreo aéreo el volumen de aire monitoreado se compara con el volumen total del aire a monitorear. Si ocurriera algún problema o inconveniente durante la medición, el operador puede colocar en pausa el equipo; y en la pantalla LCD se observa el caudal de flujo de masa de aire medido hasta el momento, como así también la temperatura ambiente. Asimismo, se le indica al operador que el monitoreo está incompleto, pues el volumen de masa de aire es menor

que el volumen total, previamente programado; dando la opción al operador de continuar con la medición de la calidad del aire.

Cabe destacar que la interfaz usuario – equipo también se especifica en el programa principal, como así también el sensor de flujo de masa de aire en cual está incluido el sensor de temperatura IAT.

El programa completo que permite el funcionamiento del prototipo medidor de la calidad del aire en aplicaciones agropecuarias se encuentra en el Anexo 2.

6.4.1.6. INTERFAZ DE USUARIO

Una interfaz de usuario es el medio a partir del cual el usuario establece una relación con un equipo o una computadora, abarcando todos los puntos de contacto entre el usuario y el equipo, proporcionando así comodidad, como eficiencia.

Las interfaces básicas de usuario son aquellas que incluyen elementos tales como menús, teclados, en general, todos aquellos canales por los cuales es posible la comunicación entre el ser humano y la computadora; la mejor interacción humano – maquina a través de una adecuada interfaz (interfaz usuario), que le brinde tanto comodidad, como eficiencia.

Entre las interfaces de usuario se destaca la interfaz software – hardware, la cual forma un puente entre la máquina y las personas, permite a la maquina interpretar la instrucción y al hombre comprender el código binario traducido a información legible. Asimismo, es una interfaz de línea de comandos o de línea de órdenes, la cual les permite a los usuarios dar instrucciones a algún programa informático por medio de una línea de texto simple.

6.4.1.6.1. TECLADO MATRICIAL

Un teclado matricial es una matriz de botones. Los teclados habituales poseen los valores 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,*,#, A,B,C,D, los cuales son caracteres que ocupan las 16 teclas de un teclado 4x4. Asimismo, para que estos teclados realicen la función de una matriz, cada casilla es asignada a una fila o una columna, de esta manera el software Arduino reconoce las teclas presionadas gracias a la Liberia Keypad.

El teclado matricial cuenta con 5 puntos de conexión (*Figura 6.34.*), debido a la librería de Arduino, esta conexión resulta bastante sencilla, ya que no requiere resistencias u otros elementos independientemente de los cables necesarios para las conexiones. De lo expuesto anteriormente, es posible llevar a cabo las siguientes conexiones entre la placa Arduino Mega 2560 y el teclado matricial diseñado para el prototipo medidor de la calidad del aire.

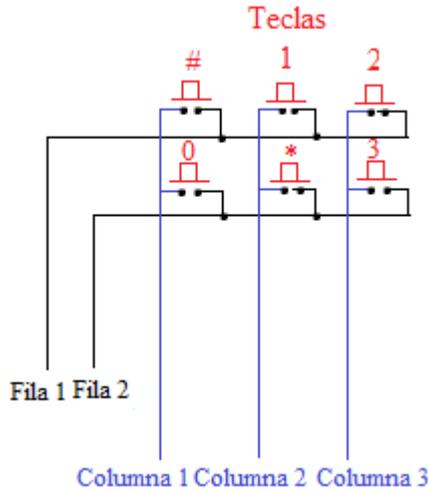


Figura 6. 34. Imagen de la conexión de las filas y columnas asignadas para cada tecla del teclado matricial del prototipo.

Conexiones:

- El pin # del teclado va conectado a la entrada digital 14 de la placa Arduino Mega 2560.
- El pin 1 del teclado va conectado a la entrada digital 15 de la placa Arduino Mega 2560.
- El pin 2 del teclado va conectado a la entrada digital 16 de la placa Arduino Mega 2560.
- El pin * del teclado va conectado a la entrada digital 17 de la placa Arduino Mega 2560.
- El pin 3 del teclado va conectado a la entrada digital 18 de la placa Arduino Mega 2560.

El teclado matricial es un dispositivo que agrupa varios pulsadores, en filas y columnas, y permite controlarlos empleando un número de conductores inferiores al que se necesita al usarlo de forma individual.

Cada tecla es un pulsador conectado a una fila y una columna. Cuando se pulsa una de las teclas, se cierra una conexión única entre una fila y una columna (*Figura 6.35.*).

Para que la placa de desarrollo Arduino pueda detectar cual es la tecla pulsada, basta con poner tensión en las filas de forma secuencial y luego leer las columnas para ver cual tiene HIGH. Los teclados matriciales usan una combinación de filas y columnas para conocer el estado de los botones. Cada tecla es un pulsador conectado a una fila y a una columna.

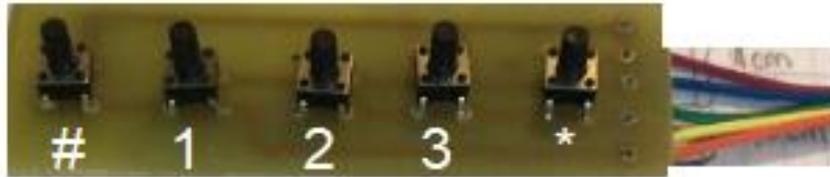


Figura 6. 35. Imagen del teclado matricial del prototipo.

Desarrollo de la programación para Arduino

Para la programación del teclado matricial se debe descargar e instalar la librería keypad, la cual puede ser descargada desde el IDE de Arduino. La misma se incluye en el programa. Primero, se debe definir las constantes a utilizar tales como el número de filas y el número de columnas, y los arreglos necesarios para indicar a la librería los pines de la placa de desarrollo Arduino que corresponden a las filas y a las columnas del keypad. Luego, mediante el uso de una función disponible en la librería keypad, denominada makeKeymap (teclas), se asigna un arreglo de valores a una matriz, la cual se realiza solo una vez al principio salvo que sea necesario cambiarlo en otro momento (Figura 6.36.).

Por último, para leer el keypad (Tecla pulsada) es necesario llamar a otra función de la librería, con la cual se obtiene la información con el carácter de la tecla pulsada en el teclado.



Figura 6. 36. Imagen del teclado matricial del prototipo (Impresión 3D).

En resumen, el procedimiento a seguir es el siguiente:

- 1- Descargar la librería Keypad en el software de Arduino. Una vez realizada la descarga, es necesario declarar la librería en el programa a ejecutar, denominada *Librería Keypad*.
- 2- Declarar las filas y columnas que presenta el teclado, luego, prototipo medidor de la calidad del aire presenta un teclado matricial de 2 FILAS por 3 COLUMNAS, a los cuales se les asignan los pines correspondientes en la placa de Arduino. Cabe destacar que los pines asignados serán pines digitales.

De esta manera, el teclado matricial queda formado por completo, ya que se ha establecido el número de filas y número de columnas que la constituyen, como así también la asignación de la tecla pulsada.

Asimismo, se definen dos instrucciones necesarias para el uso del teclado matricial:

- Instrucción Keypad keypad = Keypad (makeKeymap (decKeys), pines que corresponden a las FILAS, pines que corresponden a las COLUMNAS, FILAS, COLUMNAS). Con ella, es posible llevar a cabo el mapeo del teclado matricial creado.

- Instrucción Char customKey, mediante la cual se define la variable customKey, que mostrará cuál es la tecla presionada en el teclado.

6.4.1.6.2. DISPLAY LCD

El LCD (Liquid Crystal Display por sus siglas en inglés) o pantalla de cristal líquido es un dispositivo que se utiliza para la representación de información de manera gráfica, empleando caracteres, símbolos o pequeños dibujos según el modelo utilizado. Asimismo, un microcontrolador dirige su funcionamiento.

En este caso vamos a emplear un LCD de 16x2, es decir que dispone de 2 filas de 16 caracteres cada una. Los pixeles de cada símbolo o carácter, varían en función de cada modelo (Figura 6.37.).

En lo que respecta a su conexión, es posible dividirlo en pines de alimentación, pines de control y pines del bus de datos bidireccional. Por lo general, es posible encontrar en su estructura los pines de ánodo de led backlight y cátodo de led backlight.

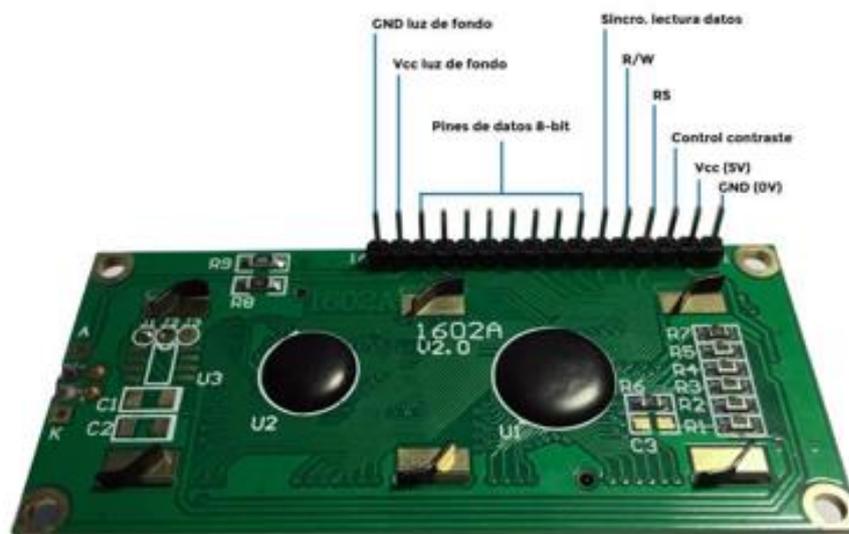


Figura 6. 37. LCD 16x2.¹⁴⁴

Pines de alimentación:

- Vss: Tierra o Ground (GND).
- Vdd: +5V. Alimentación de la pantalla y su microcontrolador interno.
- Vee: corresponde al pin de contraste de la pantalla, se regula con un preset de 10k conectado a Vdd.

Pines de control:

¹⁴⁴ Figura extraída de Página web Programar Fácil.com. Autor: Luis del Valle Hernández. Tutoriales de programación: LCD con Arduino. (s.f.). Recuperado de <https://programarfácil.com/tutoriales/fragmentos/arduino/texto-en-movimiento-en-un-lcd-con-arduino/>

- **Rs:** (Registro de Selección) corresponde al pin de selección de registro de control de datos (0) o registro de datos (1), es decir, el pin Rs funciona paralelamente a los pines del bus de datos. Cuando Rs es igual a 0 el dato presente en el bus pertenece a un registro de control/instrucción, y cuando Rs es igual a 1 el dato presente en el bus de datos pertenece a un registro de datos o un carácter.
- **Rw:** (Escritura/Lectura o Write/Read por sus siglas en inglés) corresponde al pin de escritura (write = 0) o de lectura (read = 1). Permite escribir un dato (o mensaje) en la pantalla o leer un dato desde la pantalla.
- **E:** (Enable o Habilidad) corresponde al pin de habilitación, es decir permite que la pantalla reciba la información para escribirla. Si E (0) significa que el LCD no está activado para recibir datos, sin embargo, si E (1) se encuentra activo y es posible escribir o leer desde el LCD.
- **A y K:** corresponden a los pines de la luz verde de fondo de la pantalla, para iluminarla se conecta a 5V y K a tierra.

Pines de Bus de datos:

El bus de datos bidireccional comprende desde los pines D0 a D7. Para realizar la comunicación con el LCD se utiliza los 8 bits del bus de datos (D0 a D7) o empleando los 4 bits más significativos del bus de datos (D4 a D7).

- D4 a algún pin digital del Arduino, en este caso se utilizara el pin 5.
- D5 a algún pin digital del Arduino, en este caso se utilizara el pin 4.
- D6 a algún pin digital del Arduino, en este caso se utilizara el pin 3.
- D7 a algún pin digital del Arduino, en este caso se utilizara el pin 2.

Zonas de memoria del LCD: DDRAM y CGROM

- La memoria DDRAM (Data Display RAM): corresponde a una zona de memoria donde se almacenan los caracteres que se van a representar en pantalla. Es decir que la memoria donde se almacenan los caracteres a mostrar con su correspondiente posición.
- La memoria CGROM es una memoria interna donde se almacena una tabla con los caracteres que podemos visualizar en el lcd.
- La memoria CGRAM (Character Generator RAM), en ella es posible almacenar caracteres propios, es decir a propios del programador.

Librería del LCD

Para poder visualizar los caracteres o símbolos en el LCD es necesario que en el programa del código fuente a emplear, se incluya la librería del mismo. La programación se lleva a cabo mediante el software Arduino, luego, la librería a emplear será la LiquidCrystal, la cual se encuentra incluida en el IDE de Arduino.

Es necesario inicializar la librería de la pantalla LCD antes del setup (), de esta forma: LiquidCrystal lcd (RS, E, D4, D5, D6, D7). En el paréntesis, se escriben los pines del Arduino en los que se conectó la pantalla. En el caso del presente proyecto integrador queda de la siguiente forma (12,11, 5, 4, 3,2).

En el setup () se inicializan las filas y columnas de la pantalla, así: lcd.begin (16,2). Se utiliza el comando lcd.setCursor (columna, fila) para elegir la posición donde escribir,

por ejemplo: `lcd.setCursor (0,1)` posiciona el cursor en la columna 0 y fila 1. Los comandos `lcd.print ("Mensaje")` o `lcd.write ("Mensaje")` son para escribir el mensaje que se desea. El comando `lcd.clear ()` es para borrar lo escrito en la pantalla.

6.4.1.7. FUENTE DE ALIMENTACIÓN

Las baterías son aparatos electroquímicos que convierten la energía química en energía eléctrica. Están compuestas por un conjunto de células electrolíticas utilizadas para suministrar una provisión de corriente eléctrica continua o directa. Existen dos tipos de células: células primarias y células secundarias.

Las células primarias, llamadas comúnmente pilas, producen electricidad en un proceso químico irreversible, y resulta necesario eliminarlas y reemplazarlas cuando se agotan. Por otro lado, las células secundarias, o acumuladoras, actúan de acuerdo con un principio reversible, y es posible recargarlas conectándolas con otra fuente adecuada de corriente eléctrica.

Todas las células tienen dos electrodos sumergidos en un electrolito. El electrolito es una sustancia, a menudo líquida, que conduce electricidad gracias a su disociación en un elevado número de iones. Estos son átomos que se han ganado o perdido electrones, y por lo tanto tienen una carga eléctrica.

Cuando dos electrodos apropiados se sumergen en un electrolito, un exceso de electrones aparece en un electrodo (negativo) y una deficiencia en el otro (positivo). La diferencia de potencial eléctrico entre los dos electrodos origina el flujo de una corriente eléctrica en un circuito externo que vincula a los dos electrodos. El flujo de electrones se produce de negativo a positivo, sin embargo, por convención, la corriente de flujo del polo positivo al polo negativo.

6.4.1.7.1.PILA 9V

La pila de 9V, es una pila eléctrica que posee las siguientes características: (Según las pilas de 9V utilizadas en el proyecto de marca DURACELL). (*Figura 6.38.*)

- Tensión nominal: 9V.
- Tensión de operación: 9.6V – 4.8V.
- Capacidad: 565 mAh.
- Peso: 45 gramos.
- Volumen: 22.8 cm³.
- Temperatura de operación: 20°C a 54°C.
- Conector: PP3.
- Denominación ANSI: 1604A.
- Denominación: 6LR61.



Figura 6. 38. Batería de 9V Energizer.¹⁴⁵

6.4.1.7.2. BATERÍA LIPO

Las baterías LiPo (abreviatura de Litio y polímero) son un tipo de baterías recargables que suelen utilizar los sistemas electrónicos de radiocontrol, en especial los aviones, helicópteros y multicopteros.

En comparación con las baterías de NiCd/NiMh, las baterías LiPo se caracterizan por:

- Las baterías LiPo son ligeras y existen en formas y tamaños variables.
- Poseen una gran capacidad de almacenamiento de energía en un tamaño reducido.
- Presentan una tasa de descarga elevada, la cual permite alimentar sistemas electrónicos de gran demanda.

Sin embargo, existen algunos inconvenientes relacionados con su aplicación:

- Complicaciones relacionadas con la seguridad de la batería debido al electrolito volátil que se utiliza, exclusivamente, en la fabricación de las baterías LiPo, el cual puede incendiarse o, incluso, provocar una explosión.
- Requiere de cuidados específicos relacionados con la carga, descarga y almacenamiento de la misma, lo cual incide de manera directa sobre la vida útil de la batería.

Las baterías LiPo se clasifican según:

- Voltaje o clasificación “S”: las baterías LiPo cuentan con celdas de 3.7V y 4.2V (máxima carga), lo cual disminuye el tamaño de las mismas, en comparación con las baterías de NiCd o NiMh que contienen celdas de 1.2V.
- Capacidad o mAh: la capacidad indica la cantidad de carga que se puede colocar en la batería por el periodo de una hora, se expresa en miliamperios por hora (mAh), para que la misma se descargue por completo.

De lo expuesto anteriormente, para incrementar el tiempo de funcionamiento es necesario aumentar la capacidad de la batería, sin embargo, resulta importante considerar que un aumento en la capacidad de la batería implica un incremento en el tamaño y peso de la misma.

¹⁴⁵ Imagen extraída de la página web www.energizer.com.ar. Recuperado de www.energizer.com.ar/#tipoDiario-productEnergizerMax9V

- Tasa de descarga o “C”: es la rapidez con la que una batería puede ser descargada de forma segura. La velocidad de descarga se indica según la facilidad en el flujo de los iones del ánodo al cátodo.

Asimismo, la resistencia interna constituye una de las mejores opciones para llevar a cabo el control de la condición de la batería LiPo. Conforme aumenta el tamaño de la batería, su resistencia interna incrementa. En general, presentan una tasa de descarga interna de 2 a 6 miliohms (0.002mΩ a 0.006 mΩ). Luego, la resistencia interna total se obtiene del producto del número de celdas de la batería por su resistencia interna.

Adicionalmente, la resistencia interna incrementa con la edad de la batería, como así también, tasas de descarga bajas se relacionan directamente con una resistencia interna más elevada.

Por otro lado, en relación con el voltaje y la corriente máxima de carga, una celda de la batería LiPo de 3.7V está cargada al 100% cuando alcanza los 4.2V. Una sobrecarga puede destruir las celdas de la batería, e, incluso, provocar una explosión. Por esta razón, es importante utilizar cargadores específicos para las baterías LiPo y seleccionar el voltaje correcto o especificar el número de celdas de carga de la batería. En general, éstos cargadores se caracterizan por utilizar método de carga de corriente constante/voltaje constante (cc/cv). Lo que significa que la corriente constante se aplica a la batería durante la primera parte del ciclo de carga. A medida que la tensión de la batería se acerca a la tensión de carga del 100%, el cargador reducirá automáticamente la corriente de carga y luego aplicará una tensión constante. Asimismo, el cargador dejará de cargar cuando el 100% del voltaje de carga de la batería iguale la constante de voltaje configurada para cada celda. Cabe destacar que un exceso de voltaje o sobrecarga disminuye la vida útil de la batería. De igual manera, un ambiente con temperaturas elevadas puede provocar explosiones o incendios cuando una batería se sobrecarga o calienta, explotando y expulsando gases tóxicos. El almacenamiento, transporte, mantenimiento y carga de la batería forman parte del control de la vida útil de la batería.

Generalmente, se sigue la regla del 80%, es decir que nunca se debe descargar una batería LiPo por debajo del 80% de su capacidad, lo cual extiende la vida útil de la misma.

Batería seleccionada para el diseño y fabricación del prototipo medidor de la calidad del aire:

- HRB RC Battery 11.1V 5000 mAh 50C-100C 3S LiPo Battery For RC Helicopters Airplane Car Drone.¹⁴⁶ (Figura 6.39.)
- Especificaciones:
 - Marca: HRB Battery.
 - Capacidad: 5000mAh.
 - Tasa de descarga continua: 50C.
 - Tasa de ráfaga: 100C.
 - Voltaje por celda: 3.7V.
 - Máximo voltaje por celda: 4.2V.
 - Máximo voltaje por pack: 12.6V.

¹⁴⁶ Información de las características de la batería utilizada extraída de: pagina web KTtechnisc systems. <https://ktechnics.com/shop/lipo-battery-11-1v-5000mah/>. Búsqueda: LiPo Battery 11.1V 5000mAh.

- Número de celdas: 3S.
- Tasa de descarga sugerida: 1C.
- Máxima tasa de descarga aprobada: 5C.
- Cables de silicona: 12awg.
- Tipo de conector: Deans Plug/XT60/EC5/Traxxas.
- Dimensiones (L x W x H): 153 x 48 x 25 mm (± 0.3 mm).
- Peso: 404g \pm 2g.
- Lista de empaque: 1pc 11.1V 5000mAh HRB Battery
- Precauciones:
 - No cargar por encima de 4.2V y no descargar por debajo de 3.7V.
 - No colocar la batería en ambientes con temperaturas elevadas.
 - Evitar contacto con el fuego.
 - Evitar contacto con el agua.



Figura 6. 39. Batería LiPo HRB 11.1V 5000mAh 3S 50C-100C. ¹⁴⁷

6.4.1.8. CONVERTOR DC-DC BOOST

Se denomina convertor DC-DC a un dispositivo que transforma corriente continua de una tensión a otra. Suelen ser reguladores de conmutación, dando a su salida una tensión regulada y, generalmente, con limitación de corriente (Ley de Conservación de la Energía). Su uso simplifica la alimentación de un sistema, pues permite generar las tensiones donde se necesitan, reduciendo la cantidad de líneas de potencia necesarias. Además, permiten un mejor manejo de potencia, control de tensiones de entrada, aumento de armónicas y un aumento en la seguridad, con gran eficiencia.

Habitualmente, se clasifican en tres grupos: aquellos que disminuyen la tensión a su salida o convertor reductor (Step-Down o Buck), los que aumentan la tensión a su salida o convertor elevador (Step-Up o Boost) y los que realizan ambas funciones, es decir los convertidores reductores-elevadores (Step-Up-Down o Buck-Boost).

El convertor Boost es un convertor DC-DC que obtiene a su salida una tensión continua mayor que su tensión de entrada, sin embargo la corriente de salida es menor

¹⁴⁷ Imagen extraída de la página web www.rcrotors.com. Recuperado de <http://www.rcrotors.com/hrb-11-1v-5000mah-3s-50c-100c-lipo-battery-with-traxxas-trx-plug-for-rc-dji-f450-quadcopter-rc-helicopter-airplane-hobby-drone-and-fpv-6-10-x-1-89-x-0-91-inch/#prettyPhoto>.

que la corriente de entrada. Se trata de una fuente de alimentación conmutada que contiene al menos dos interruptores semiconductores (diodo y transistor), y al menos un elemento que almacena energía (condensador, bobina o combinación de ambos). La energía puede provenir de fuentes AC o fuentes DC, y los dispositivos requieren de tensiones continuas

El convertidor de voltaje DC-DC Step-Up 2.5A XL6009 (Figura 6.40.) tiene como función entregar un voltaje de salida constante superior al voltaje de entrada frente a variaciones del voltaje de entrada o de carga. Soporta corrientes de salida de hasta 2.5A, voltaje de entrada entre 5V a 32V y voltaje de salida entre 7V a 32V. El voltaje de salida se selecciona mediante un potenciómetro multivuelta.

Los convertidores DC/DC son circuitos capaces de transformar un nivel de voltaje a otro de mayor o menor nivel. Existen dos tipos de convertidores o reguladores DC-DC: lineales y conmutados (switching). Los reguladores de tipo lineal como el clásico LM7805 o el LM317 son muy sencillos de utilizar pero no son eficientes energéticamente. Por el contrario los reguladores de tipo conmutado presentan altos niveles de eficiencia energética (superior al 80%). Los convertidores conmutados convierten el voltaje mediante el almacenamiento periódico de energía de entrada y la posterior liberación de esa energía en la salida de forma que el nivel de voltaje de final es el deseado. Los convertidores DC-DC conmutados con el objetivo de convertir la energía eléctrica con la máxima eficiencia poseen únicamente componentes que no presentan pérdidas, es decir, que no absorben energía. Los componentes son básicamente de 2 tipos: conmutadores y almacenadores. Los conmutadores son interruptores del paso de corriente, que idealmente no presentan pérdidas por conmutación, normalmente son transistores mosfet. Los componentes almacenadores son los inductores y capacitores que almacenan la energía temporalmente para luego devolverla al circuito. Podemos clasificar a conmutadores DC-DC por su voltaje de salida en: reductores (Step-Down o Buck), elevadores (Step-Up o Boost) y reductores-elevadores (Step-Up-Down o Buck-Boost).

El convertidor DC-DC XL6009 es un regulador de tipo conmutado elevador (Step-Up o Boost) con una alta eficiencia de conversión, excelente regulación de línea y bajo voltaje de rizado. El módulo reduce al mínimo el uso de componentes externos para simplificar el diseño de fuentes de alimentación. Permite obtener un voltaje regulado a partir de una fuente con un voltaje inferior, por ejemplo: obtener 5V o 12V a partir de una batería de litio de 3.7V. Es capaz de manejar una carga de hasta 2.5A o 10W máx.



Figura 6. 40. Convertidor DC-DC Boost XL6009. ¹⁴⁸

¹⁴⁸ Imagen extraída de la página web <https://www.amazon.co.uk/Converter-Step-up-Regulator-Stabilizer-Adjustable-DC-Boost/dp/B015Z73TQE>.

- **ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**
 - Convertidor DC-DC Boost: XL6009.
 - Voltaje de entrada: 5V a 32V DC.
 - Voltaje de salida: 7V a 35V DC.
 - V. Salida ajustable (Regulable por trimmer).
 - Corriente de salida: máx. 2.5A (usar disipador para corrientes mayores a 2A).
 - Potencia de salida: 10W.
 - Eficiencia de conversión: 94% máx.
 - Regulación de carga: $S(I) \leq 0.5\%$.
 - Regulación de voltaje: $S(u) \leq 0.5\%$.
 - Frecuencia de Trabajo: 400KHz.
 - Protección de sobre-temperatura: SI (apaga la salida).
 - Protección de corto circuito: NO.
 - Protección limitadora de corriente: SI (4A).
 - Protección frente a inversión de polaridad: NO.
 - Dimensiones: 43mm x 20mm x 14mm.
- **APLICACIONES:** Fuente de 12V a partir de 5V o 3.7V y robótica móvil, entre otros.

6.5. PUESTA EN MARCHA

Conforme se realizó el diseño e impresión 3D del prototipo medidor de la calidad del aire para la detección de contaminantes atmosféricos en aplicaciones agropecuarias se llevó a cabo la investigación, selección, conexión y puesta en funcionamiento del hardware y el software necesario para llevar a cabo las mediciones de flujo de masa de aire y temperatura ambiente de la misma que circula por el dispositivo de medición, en particular, por la zona de la garganta de la tobera convergente-divergente donde se coloca el conjunto filtro-material adsorbente-soporte del filtro para la detección cualitativa de plaguicidas, relacionados con el agro, durante el monitoreo aéreo.

De lo expuesto anteriormente, se observó que es necesario un flujo forzado de aire por la zona de la garganta, para lo cual se utilizó un motor eléctrico brushless. Este tipo de motores eléctricos precisan de un variador electrónico de velocidad, el cual le envía una señal modulada por ancho de pulso, que regula el voltaje promedio de entrada variando la velocidad de giro del motor.

El motor eléctrico brushless funciona correctamente cuando se conecta al variador electrónico de velocidad como así también a la batería LiPo, fuente de alimentación necesaria para la puesta en marcha del motor.

Además, se coloca una hélice en uno de los extremos del eje del motor con un adaptador de goma. Por otro lado, la base del motor se fija a la estructura que da soporte al motor, conocida como tapa de la base del motor, evitando que durante el funcionamiento del mismo el empuje ocasione problemas tanto al usuario como al público en general con movimientos incontrolados. Luego, el conjunto motor-hélice en

funcionamiento genera un flujo forzado de aire por el interior de la tobera convergente-divergente que forma parte del prototipo medidor de la calidad del aire, y es necesario para llevar a cabo la toma de la muestra que luego será analizada cualitativamente en el laboratorio.

Cada componente electrónico cuenta con una hoja de datos que provee el fabricante, en la cual se especifican las características, como así también condiciones de uso y rangos de operación para optimizar su funcionamiento. En el caso del motor eléctrico brushless seleccionado para el prototipo, la máxima eficiencia se alcanza con el motor funcionando al 80%, luego, el rango de velocidad del motor establecido es del 75% - 85%.

Por otra parte, se encuentra el bloque integrado por el sensor de flujo de masa de aire o MAF, y el sensor de temperatura IAT, el cual comparte la carcasa con el MAF.

El sensor MAF mide el flujo de masa de aire que circula por la tobera convergente-divergente durante el funcionamiento del motor eléctrico brushless. Por su parte, el sensor de temperatura IAT lleva a cabo la medición de la temperatura ambiente.

La placa de desarrollo Arduino recibe las señales provenientes de los diferentes componentes electrónicos que forman partes del prototipo: variador electrónico de velocidad, sensor de flujo de masa de aire y sensor de temperatura IAT, circuito del sensor de temperatura IAT, teclado matricial y display LCD.

El software Arduino interpreta la información recibida, y actúa en consecuencia, en función de los objetivos que persigue el diseño y puesta en funcionamiento del prototipo medidor de la calidad del aire en aplicaciones agropecuarias.

Resulta importante destacar que el encendido y apagado del equipo, como del sensor MAF-sensor IAT se realiza a través de interruptores que se encuentran en la cara frontal y cara inferior del equipo, respectivamente.

Asimismo, la orden de inicio, pausa y finalización del monitoreo se realiza a través de la interfaz teclado-display LCD con el usuario, y los resultados que se visualizan en el display LCD al pausar o finalizar por completo el monitoreo aéreo son: Caudal de flujo de masa de aire, expresado en m^3/s , y temperatura ambiente, en $^{\circ}C$.

El flujo de masa de aire a monitorear se ha establecido en función de los volúmenes de monitoreo de los equipos comerciales que se utilizan en la actualidad para el monitoreo de la calidad del aire, los cuales cumplen con las normas de la calidad del aire a nivel nacional como internacional. Por otro lado, el periodo de monitoreo se determina mediante la caracterización de la curva del equipo, la cual se grafica en función de los datos obtenidos de las mediciones del equipo en funcionamiento sin carga es decir sin el conjunto filtro-material adsorbente-soporte del filtro.

Finalizada la etapa de mediciones de prueba y caracterización de la curva, se procede a la toma de la muestra, colocando el conjunto filtro-material adsorbente-soporte del filtro en la zona de la garganta del prototipo, para verificar que el prototipo cumple con la función para la cual fue diseñado, es decir que determinar cualitativamente la presencia de plaguicidas utilizados en aplicaciones agropecuarias.

6.6. MEDICIONES

6.6.1. CARACTERIZACIÓN DE LA CURVA (SIN MATERIAL ADSORBENTE)

Mediciones de prueba sin la presencia del conjunto filtro-material adsorbente-soporte del filtro

La recolección de datos, para luego graficar la curva de caracterización del prototipo medidor de la calidad del aire, para aplicaciones agropecuarias, se desarrolló durante la puesta en marcha del mismo, luego de programar el rango de velocidades para optimizar el funcionamiento del motor eléctrico brushless y el volumen total de aire a monitorear.

Resulta importante destacar que esta primera instancia de mediciones, las mismas se efectuaron sin carga, es decir que en la zona de la garganta no se encuentra el conjunto filtro-material adsorbente-soporte del filtro, ya que el fin que persiguen éstas mediciones es determinar el periodo de tiempo de monitoreo necesario para muestrear el volumen de aire establecido con anterioridad. Además, se evalúa el comportamiento del prototipo de medición frente a las variaciones de velocidad del motor.

La caracterización de la curva se llevó a cabo de la siguiente manera:

- Verificando el funcionamiento del motor eléctrico brushless se comprobó que el mismo comienza a moverse a partir de una señal de ancho de pulso o PWM de 1170 microsegundos, lo cual no coincide con los datos teóricos del funcionamiento del motor, que sostienen que a una señal de ancho de pulso de 1001 microsegundos el motor comienza su movimiento. Lo mismo ocurre en el límite superior, ya que la velocidad máxima se alcanza con una señal de ancho de pulso de 1800 microsegundos, y luego comienza a decrecer el pulso hasta llegar a los 2000 microsegundos.

De esta manera, las velocidades a programar para luego llevar a cabo las mediciones y toma de datos serán:

- Velocidad del motor: 1170 pulsos. (65%).
- Velocidad del motor: 1215 pulsos.
- Velocidad del motor: 1260 pulsos. (70%).
- Velocidad del motor: 1305 pulsos.
- Velocidad del motor: 1350 pulsos. (75%).
- Velocidad del motor: 1395 pulsos.
- Velocidad del motor: 1440 pulsos. (80%)
- Velocidad del motor: 1485 pulsos.
- Velocidad del motor: 1530 pulsos. (85%)
- Velocidad del motor: 1575 pulsos.
- Velocidad del motor: 1620 pulsos. (90%).
- Velocidad del motor: 1665 pulsos.

Considerando que, según las especificaciones técnicas, el motor eléctrico brushless optimiza su funcionamiento 80% de la máxima velocidad del motor, el rango

seleccionado para efectuar el monitoreo aéreo de la calidad del aire es de 75% - 85%, el cual equivale a una señal de ancho de pulso de 1350 pulsos – 1530 pulsos.

- Durante el funcionamiento del prototipo de medición a un valor de velocidad previamente programado, el sensor de flujo de masa de aire o MAF mide la variación del voltaje en función del flujo de masa de aire que circula por la tobera convergente-divergente, en especial por la zona de la garganta. Luego, esta señal en voltaje que se obtiene a la salida del MAF, es una señal de tipo analógica, que se convierte en una señal analógica de entrada en la placa de desarrollo Arduino que, mediante el uso del software de programación Arduino, se convierte el valor de voltaje a un valor con decimales, el cual se utiliza en la función que se obtiene de la caracterización de la curva del sensor MAF para el cálculo del caudal expresado en m^3/min . La caracterización de la curva del sensor MAF es un gráfico que se obtiene del análisis de la variación de la señal de voltaje del sensor MAF en función del flujo de masa de aire que circula por la tobera convergente-divergente durante el funcionamiento del prototipo medidor de la calidad del aire. Por esta razón, es necesario llevar a cabo la toma de las muestras con el equipo funcionando a diferentes velocidades del motor eléctrico brushless

Integrado a la carcasa del MAF se encuentra el sensor de temperatura IAT, el cual funciona en simultáneo con el MAF. Este sensor se encarga de medir la variación de la resistencia ($\text{k}\Omega$) en función de la variación de la temperatura ($^{\circ}\text{C}$).

Al igual que el sensor MAF, la señal de salida del sensor IAT, es una señal analógica de entrada a la placa de desarrollo Arduino, mediante el software de programación Arduino y funciones de conversión, se obtiene el valor de temperatura ambiente expresada en ($^{\circ}\text{C}$).

Resulta importante destacar que, al igual que el sensor MAF, de la toma de las muestras del prototipo medidor de la calidad funcionando a diferentes velocidades establecidas y programadas previamente se obtuvo como resultado de las mismas la curva de caracterización del sensor IAT. Sin embargo, los sensores IAT presentan fórmulas de conversión que simplifican la programación en el software Arduino.

- Por otra parte, el anemómetro digital, es un instrumento de medición que se utiliza para cuantificar la velocidad del aire, en m/s , y la temperatura ambiente, en $^{\circ}\text{C}$, en el ingreso de la zona de la garganta en la tobera convergente-divergente, aproximadamente en la zona del centro de la misma. Luego, esta medición se realiza con el motor eléctrico brushless funcionando a una velocidad previamente programada y el MAF – sensor IAT también funcionando. Por lo tanto, durante ese momento, se debe tomar nota de los valores obtenidos por:
 - MAF: valor del voltaje (**V**) a la velocidad del motor programada.
 - Sensor IAT: valor de la resistencia (**K Ω**) a la velocidad del motor programada.
 - Anemómetro: valor de la velocidad del aire (**m/s**) y valor de la temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$).

Resulta importante destacar que, en un principio, la medición de las velocidades del flujo de aire se realizarían haciendo uso de un tubo de Pitot, el cual por variación de altura y relación entre presión dinámica y presión estática, se calcula la velocidad del flujo de aire para una determinada velocidad del motor eléctrico brushless. Sin embargo, por razones de falta de sensibilidad en el momento de llevar a cabo la medición, se optó por el uso del anemómetro digital.

Con los valores obtenidos se crea una tabla que especifica cada uno de los valores obtenidos de las mediciones del MAF, sensor IAT y anemómetro, para cada una de los valores de velocidad del motor programados.

Luego, considerando el diámetro interno del tubo circular, que se utiliza como soporte del filtro con el material adsorbente, y aplicando la fórmula de cálculo del caudal se obtiene el flujo de masa de aire

$$Q = A \times V$$

- Q es el caudal o flujo de masa de aire (m^3/min).
- A es el área del tubo de vidrio que se utiliza como soporte del filtro-material adsorbente. Para su cálculo se toma como dato el diámetro interno del tubo de vidrio. Se expresa en m^2 .
- V es la velocidad del flujo de aire medida por el anemómetro digital en m/s .

De esta manera, se realizaron un total de 6 tomas de muestras con cada uno de los valores de velocidad del motor eléctrico brushless previamente establecidos.

Tabla con los valores obtenidos de las mediciones (Tabla 6.2.)

Velocidad del Motor [PWM]	Velocidad anemómetro [m/s]	Señal de Voltaje MAF [V]	Señal del sensor IAT [kΩ]	Temperatura del anemómetro [°C]
> 1170	0.0	0,7	16360	23,8
> 1170	0.0	0,7	16360	23,8
> 1170	0.0	0,7	16400	24
> 1170	0.0	0,7	16380	23,9
> 1170	0.0	0,7	16400	23,8
> 1170	0.0	0,7	16300	23,4
1170	2.7	1,07	17520	23,9
1170	2.7	1,09	17500	24
1170	2.6	1,09	17460	24,1
1170	2.3	1,08	17450	24,3
1170	2.5	1,1	17420	24,3
1170	2.6	1,08	17490	24,4
1215	5.8	1,31	17760	24,5
1215	5.0	1,32	17900	24,4
1215	5.3	1,33	17920	24,3
1215	5.6	1,34	17760	24,4
1215	5.3	1,35	17740	24,4
1215	5.3	1,34	17740	24,4
1260	7.0	1,4	17740	24,5
1260	6.7	1,48	17910	24,4
1260	8.1	1,45	17920	24,4
1260	7.1	1,41	17880	24,5

1260	7.0	1,45	17850	24,5
1260	7.5	1,43	17800	24,5
1305	7.1	1,53	17840	24,5
1305	8.5	1,54	17880	24,5
1305	7.9	1,56	17550	24,5
1305	8.1	1,57	17900	24,5
1305	8.3	1,55	17770	24,5
1305	8.8	1,51	17790	24,5
1350 (75%)	8.2	1,55	17700	24,5
1350 (75%)	9.2	1,58	17760	24,5
1350 (75%)	9.2	1,6	17800	24,4
1350 (75%)	9.5	1,6	17900	24,4
1350 (75%)	9.2	1,61	17770	24,4
1350 (75%)	9.9	1,61	17720	24,4
1395	9.7	1,6	17550	24,4
1395	10.3	1,62	17480	24,4
1395	10.0	1,62	17350	24,6
1395	15.2	1,64	17470	24,6
1395	16.3	1,65	17520	24,5
1440	16.6	1,67	17560	24,4
1440	17.0	1,65	17410	24,7
1440	16.9	1,67	17410	24,7
1440	17.1	1,64	17400	24,7
1440	17.0	1,65	17870	24,5
1440	17.0	1,66	17960	24,6
1485	17.1	1,68	17940	24,6
1485	16.8	1,67	17900	24,7
1485	17.3	1,68	17910	24,7
1485	17.6	1,65	17800	24,6
1485	17.4	1,66	17640	24,6
1485	17.0	1,67	17520	24,6
1530 (85%)	18.0	1,69	17490	24,7
1530 (85%)	16.9	1,68	17680	24,6
1530 (85%)	17.7	1,68	17470	24,8
1530 (85%)	17.9	1,66	17880	24,7
1530 (85%)	17.7	1,67	17800	24,8
1530 (85%)	18.0	1,68	17850	24,7
1575	18.2	1,69	17900	24,6
1575	18.0	1,7	17810	24,7
1575	18.1	1,69	17900	24,7
1575	18.5	1,68	17890	24,7
1575	18.3	1,71	17950	24,7

1575	18.5	1,69	17900	24,6
1620 (90%)	18.8	1,71	17910	24,6
1620 (90%)	18.9	1,73	17960	24,9
1620 (90%)	18.5	1,71	17990	24,6
1620 (90%)	18.6	1,69	17960	24,7
1620 (90%)	18.9	1,71	17920	24,6
1620 (90%)	18.9	1,7	17940	24,6
1665	19.6	1,73	18010	24,6
1665	19.2	1,74	16630	24,7
1665	22.0	1,71	16100	24,5
1665	24.4	1,69	16010	24,4
1665	23.6	1,72	16230	24,3
1665	23.4	1,7	16230	24,3

Tabla 6. 2. Mediciones del prototipo sin carga.

- Cálculo del área del tubo de vidrio (soporte del filtro-material adsorbente)

$$A_t = \pi \times r^2$$

- $r = 0.025 \text{ m}$

- *Diámetro del tubo de vidrio* = $5 \text{ cm} = 0.05 \text{ m}$

$$A_t = \pi \times 0.025^2 = 0.001963 \text{ m}^2$$

- Cálculo del Caudal de masa de aire

$$Q = A_t \times V$$

- $A_t = 0.001963 \text{ m}^2$

- V corresponde a la velocidad medida por el anemómetro en **m/s**.

Resulta importante destacar que los valores del caudal del flujo de masa de aire, obtenidos de las mediciones, que se encuentran a continuación en la tabla se expresaron en **m³/min**, ya que las mediciones estandarizadas de la calidad del aire se formulan en esas unidades de medición, razón por la cual fue necesario la conversión de minutos a segundos de la variable tiempo.

Resultados de las mediciones: Variación del voltaje MAF en función del caudal de flujo de masa de aire (Tabla 6.3.)

Variable X-Caudal de flujo de masa de aire (m ³ /min)	Variable Y-Voltaje MAF (V)
0,00	0,7
0,00	0,7
0,00	0,7

0,00	0,7
0,00	0,7
0,00	0,7
0,27	1,07
0,26	1,09
0,25	1,09
0,22	1,08
0,24	1,1
0,25	1,08
0,55	1,31
0,48	1,32
0,51	1,33
0,53	1,34
0,51	1,35
0,51	1,34
0,67	1,4
0,64	1,48
0,68	1,45
0,67	1,41
0,72	1,45
0,68	1,43
0,81	1,53
0,75	1,54
0,77	1,56
0,72	1,57
0,84	1,55
0,78	1,51
0,88	1,55
0,88	1,58
0,91	1,6
0,88	1,6
0,94	1,61
0,93	1,61
0,98	1,6
0,95	1,62
1,45	1,62
1,56	1,64
1,58	1,65
1,62	1,67
1,61	1,65
1,63	1,67

1,62	1,64
1,62	1,65
1,63	1,66
1,66	1,68
1,65	1,67
1,68	1,68
1,66	1,65
1,71	1,66
1,72	1,67
1,71	1,69
1,69	1,68
1,71	1,68
1,69	1,66
1,72	1,67
1,74	1,68
1,72	1,69
1,74	1,7
1,76	1,69
1,75	1,68
1,76	1,71
1,79	1,69
1,80	1,71
1,76	1,73
1,74	1,71
1,80	1,69
1,80	1,71
1,81	1,7
1,83	1,73
2,10	1,74
2,33	1,71
2,19	1,69
2,23	1,72
2,39	1,7
2,10	1,74

Tabla 6. 3. Resultados V-Q.

Luego, aplicando el análisis de regresión a los valores obtenidos de la tabla anterior es posible obtener la curva de caracterización del sensor MAF. (*Figura 6.41.*)

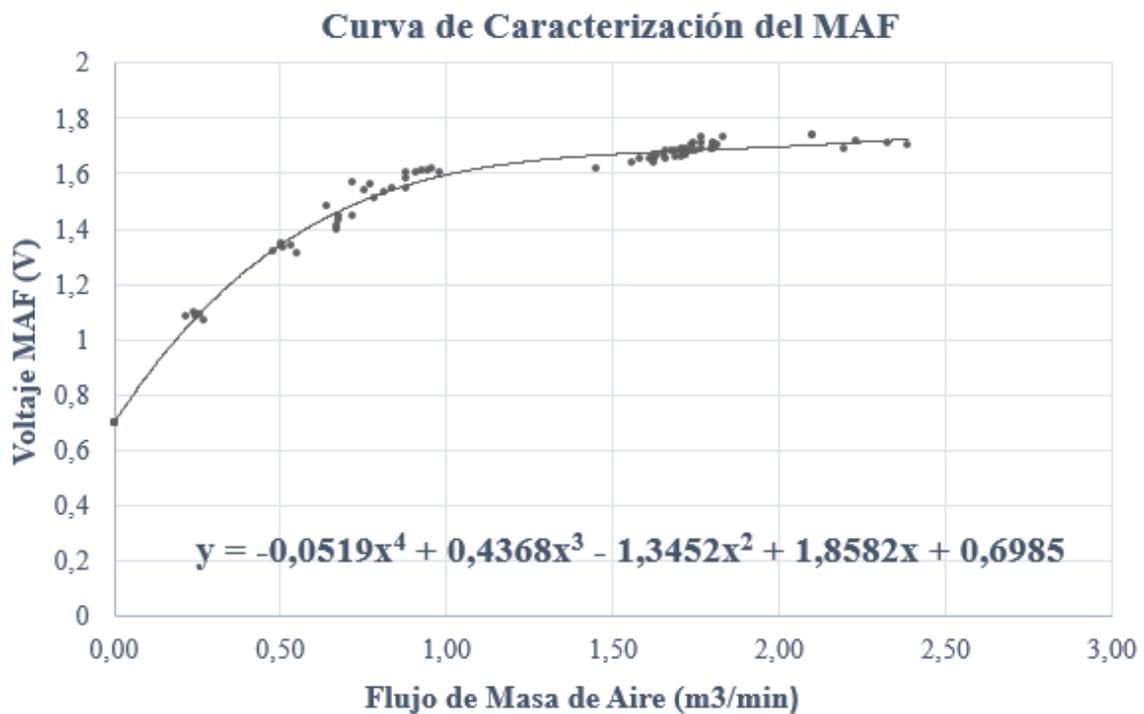


Figura 6. 41. Curva de caracterización del sensor MAF.

Resultados de las mediciones: Variación de la resistencia del sensor IAT en función de la temperatura ambiente (Tabla 6.4.)

X (Temperatura °C)	Y (Resistencia del sensor IAT [kΩ])
23,8	16360
23,8	16360
24	16400
23,9	16380
23,8	16400
23,4	16300
23,9	17520
24	17500
24,1	17460
24,3	17450
24,3	17420
24,4	17490
24,5	17760
24,4	17900
24,3	17920
24,4	17760
24,4	17740
24,4	17740
24,5	17740

24,4	17910
24,4	17920
24,5	17880
24,5	17850
24,5	17800
24,5	17840
24,5	17880
24,5	17550
24,5	17900
24,5	17770
24,5	17790
24,5	17700
24,5	17760
24,4	17800
24,4	17900
24,4	17770
24,4	17720
24,4	17550
24,4	17480
24,6	17350
24,6	17470
24,5	17520
24,4	17560
24,7	17410
24,7	17410
24,7	17400
24,5	17870
24,6	17960
24,6	17940
24,7	17900
24,7	17910
24,6	17800
24,6	17640
24,6	17520
24,7	17490
24,6	17680
24,8	17470
24,7	17880
24,8	17800
24,7	17850
24,6	17900
24,7	17810
24,7	17900
24,7	17890
24,7	17950

24,6	17900
24,6	17910
24,9	17960
24,6	17990
24,7	17960
24,6	17920
24,6	17940
24,6	18010
24,7	16630
24,5	16100
24,4	16010
24,3	16230
24,3	16230
24,2	16200

Tabla 6. 4. Resultados T-R.

Luego, aplicando el análisis de regresión a los valores obtenidos de la tabla anterior es posible obtener la curva de caracterización del sensor IAT. (Figura 6.42.)

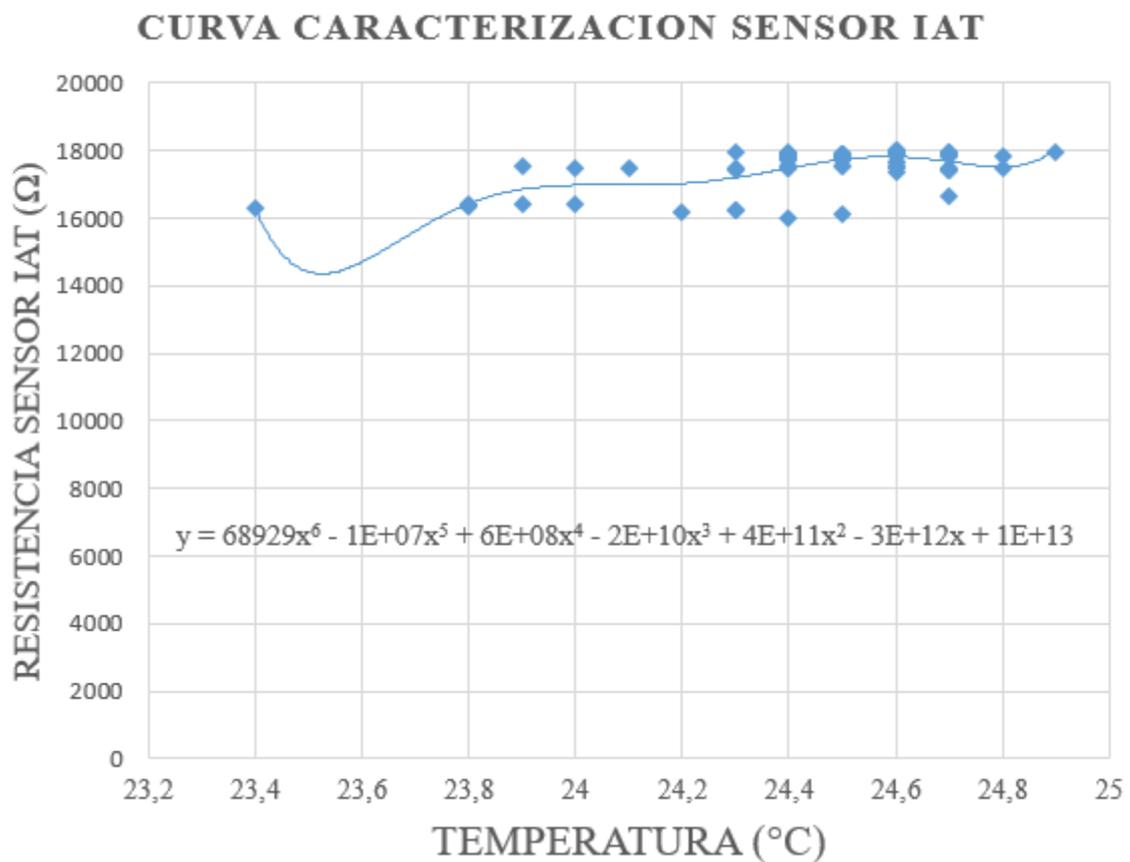


Figura 6. 42. Curva de caracterización del sensor IAT.

6.7. MEDICIONES CON CARGA (MATERIAL ADSORBENTE)

El empleo de cartuchos para la adsorción en sólidos es uno de los métodos más empleados en la actualidad para llevar a cabo el monitoreo de la calidad del aire, en estudios pasivos como dinámicos.

El adsorbente presenta una estructura cristalina.

Las moléculas del adsorbato son atraídas a la superficie exterior, como así también a la superficie interior, a través de una extensa red de canales considerablemente finos y poros submicroscópicos.

La cantidad del gas adsorbido, en condiciones determinadas previamente, resulta directamente proporcional a su facilidad de condensación.

La cantidad de contaminante gaseoso adsorbido por una cantidad determinada de adsorbente depende de:

- Elevadas concentraciones o presiones parciales del gas en el aire conducen a mayores adsorciones.
- Los mejores adsorbentes son los gránulos de materiales porosos, como la sílica gel o el carbón activado, de grandes superficies y ocupan pequeños volúmenes. Un adsorbente granular puede retener hasta el 40% de su peso en adsorbato.
- La temperatura ambiente o temperatura más bajas que la temperatura ambiente favorecen la adsorción.
- La eficacia en relación con la adsorción es mayor cuanto mayor es la afinidad del gas contaminante por el sustrato.

Los adsorbentes se colocan en tubos de vidrio o de polietileno, de pequeño tamaño y fácil manipulación. En general, los cartuchos poseen en su interior varias capas del material adsorbente de diferente tamaño de grano.

La adsorción física se revierte fácilmente por desorción a elevadas temperaturas o por el uso de solventes. Se trata de una técnica empleada para recuperar el adsorbato, para su posterior análisis químico.

La desorción térmica se utiliza para recuperar compuestos orgánicos volátiles, para su posterior análisis mediante la Cromatografía Gaseosa – Espectrometría de Masas.

El carbón activo es el adsorbente o soporte más común para vapores orgánico. Si bien existen una gran cantidad de soportes posibles, el carbón activado posee la capacidad de recoger, atrapar y lograr una gran estabilidad en la muestra recogida, como así también la posibilidad de ser analizadas pasado un periodo de tiempo luego de realizarse la toma de la muestra.

6.7.1.1. TUBOS ADSORBENTES

El tubo adsorbente utilizado en el muestreo, es un método aprobado por el Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional de los Estados Unidos (más conocido como NIOSH por sus siglas en Inglés) y la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (más conocida como OSHA por sus siglas en Inglés) para la recolección de gases y vapores considerados de mayor peligrosidad en el aire. (*Figura 6.43.*)

Las sustancias adsorbentes se disponen en el interior de los tubos de vidrio de diversos tamaños en forma de uno, dos o tres porciones de pesos variables, separadas

mediante espaciadores apropiados. Estos tubos suelen estar cerrados a la llama y vienen provistos de dos tapones para su protección una vez efectuado el muestreo.

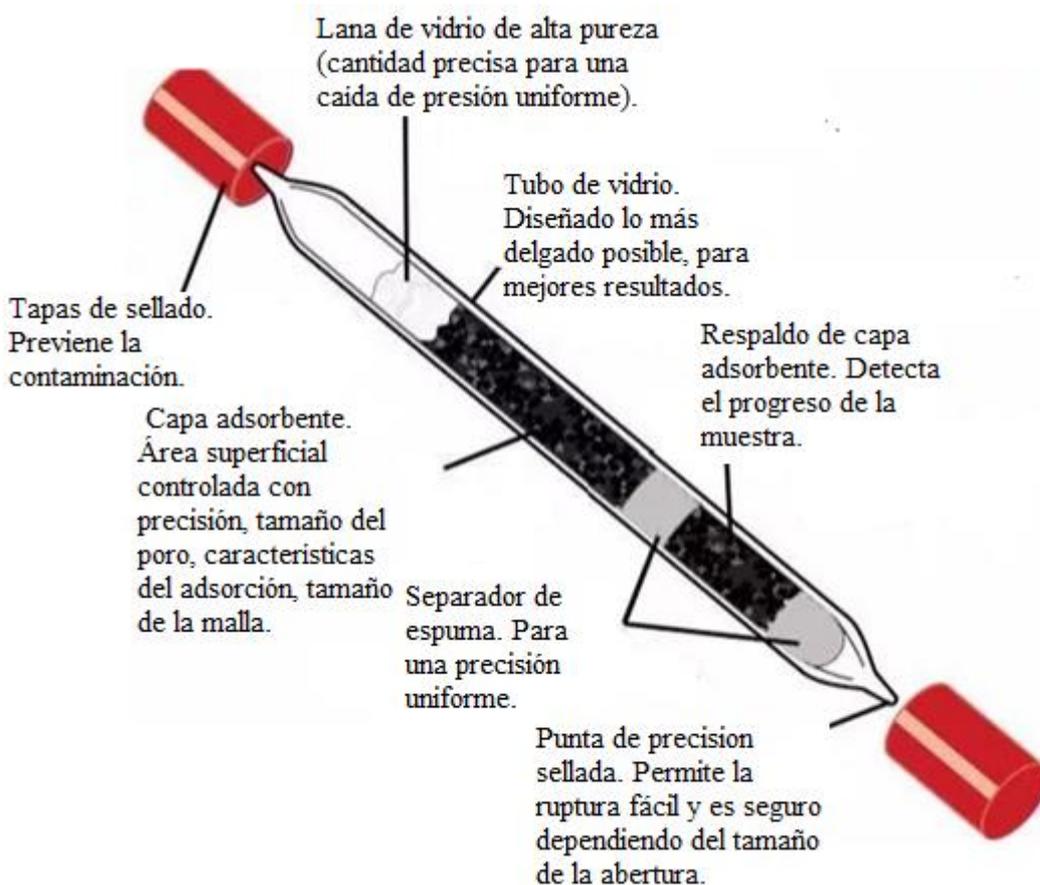


Figura 6. 43. Tubo adsorbente de dos secciones.¹⁴⁹

6.7.1.2. CARBÓN ACTIVADO

El carbón activado o carbón activo es el término genérico que hace referencia a la familia de adsorbentes carbonáceos altamente cristalinos reticulares, similares al grafito, y una porosidad interna de gran desarrollo.

El carbón activado presenta un área superficial mayor de 500 m²/g, alcanzando, con facilidad, valores de 1000 m²/g.

Al microscopio electrónico, la estructura del carbón activado se muestra con una gran cantidad de grietas. A niveles más bajos se encuentran zonas donde hay pequeñas superficies planas tipo grafito, separadas solamente por algunos nanómetros, formando microporos, los cuales proporcionan las condiciones para que tenga lugar el proceso de adsorción.

El carbón activado se caracteriza, principalmente, por:

¹⁴⁹ Imagen extraída de: ¿Cómo trabaja el tubo adsorbente para muestreo? Grupo Microanálisis. Página web www.microanaisis.com / www.microimport.mx. Recuperada de http://www.microimport.mx/media/filer_public/5d/d8/5dd8265b-9f24-4000-a24e-9519122ea8d0/tubos_adsorbentes_ficha_tecnica_p.pdf.

- Área superficial: extensión de la superficie de los poros desarrollada dentro de la matriz del carbón activado. Es un indicador primario del nivel de actividad del carbón activado, de esta manera a mayor área superficial, existe un mayor número de puntos de adsorción disponibles.
- Radios polares: la determinación de la distribución de los tamaños de los poros es una forma útil para determinar el comportamiento del material. La Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (más conocida como IUPAC por sus siglas en Inglés) define la distribución de radios polares de la siguiente forma:
 - Microporos $r < 2$ nm.
 - Mesoporos $r \approx 2 - 50$ nm.
 - Macroporos $r > 50$ nm.

Los macroporos son la vía de entrada al carbón activado, los mesoporos realizan el transporte y los microporos la adsorción.

- Dureza: es un factor importante en el diseño del sistema, la vida útil de los filtros y la forma de manipulación. Presenta grandes variaciones, dependiendo del material original y su nivel de actividad.
- Tamaño de las partículas: cuanto más fino es el tamaño de las partículas de un determinado carbón activado, mejor es el acceso al área superficial y más rápida es la tasa de cinética de adsorción.

El carbón activado se prepara a partir de diferentes materiales, por ejemplo carbón, turbas, madera, petróleo. Las materias primas utilizadas en la producción de carbón activado son: huesos, cascaras de coco, turba, residuales de petróleo, azúcar, madera, carbón mineral, entre otros.

Este proceso se puede dividir en dos tipos:

- Activación física (térmica).
- Activación química.

El tipo de material con el que se produce el carbón activado afecta el tamaño de los poros y las características de regeneración del carbón activado, luego, se clasifican en: carbón activado en polvo, con diámetro menor o igual a 0.25 mm y el carbón activado granular, con un diámetro superior a los 0.25 mm.

El carbón activado presenta múltiples usos, tales como extracción de metales, purificación de agua potable, intoxicación en seres humanos, tratamiento de aguas residuales, filtros de purificación y en controladores de emisiones de automóviles, entre otras aplicaciones.

Mediciones realizadas por el prototipo medidor de la calidad del aire utilizando filtros con carbón activado

Finalizado el proceso de medición con el prototipo medidor de la calidad del aire, variando la velocidad de funcionamiento del motor eléctrico brushless, y sin la presencia del conjunto filtro-material adsorbente-soporte del filtro en la zona de la garganta, es decir que el flujo de masa de aire que circula forzosamente por la tobera convergente-divergente no presenta interferencias durante su circulación.

Luego, con los datos obtenidos de las mediciones, se realizó la caracterización de la curva correspondiente al sensor de flujo de masa de aire (MAF) y al sensor de temperatura (IAT). De esta manera, al llevar a cabo el monitoreo aéreo de la calidad del aire en un área específica, es posible determinar cualitativamente la presencia de plaguicidas en la misma.

Cabe destacar, que las curvas de caracterización permiten que el prototipo de medición, funcionando en un rango de velocidades programadas previamente, mida el caudal de flujo de masa de aire y la temperatura ambiente del área monitoreada.

El paso siguiente corresponde a las mediciones de prueba con el conjunto filtro-material adsorbente-soporte del filtro, colocados en la zona de la garganta de la tobera. Este conjunto, diseñado y fabricado manualmente, al igual que el prototipo de medición, también es un prototipo análogo a los tubos adsorbentes que utilizan los equipos comercializados actualmente durante el monitoreo de la calidad del aire.

El tubo seleccionado corresponde a un tubo de vidrio de borosilicato, con un diámetro interior de 50 mm. Las dimensiones del tubo imposibilitan realizar una distribución del material adsorbente seleccionado, carbón activado en este caso, similar a la utilizada por los tubos adsorbentes que se comercializan. Además, la cantidad de carbón activado es necesario resultaría significativa, lo cual se convierte en un prototipo del tubo adsorbente costoso, de difícil manipulación. Por esta razón, se optó por fabricar discos con un diámetro igual al diámetro interno del tubo de vidrio, alrededor de los mismos se cosen dos capas de tela (lycra y tul) formando en el interior del disco un especie de bolsa donde se coloca el material adsorbente. Luego, estos filtros se cosen en el interior de un tubo de alambre de aluminio (tela mosquitera), conocido como soporte del filtro-material adsorbente. Los filtros se disponen alrededor del soporte con una inclinación, aproximada, de 45° - 60° (*Figura 6.44.*), incrementando el área de impacto del aire monitoreado con el material adsorbente.

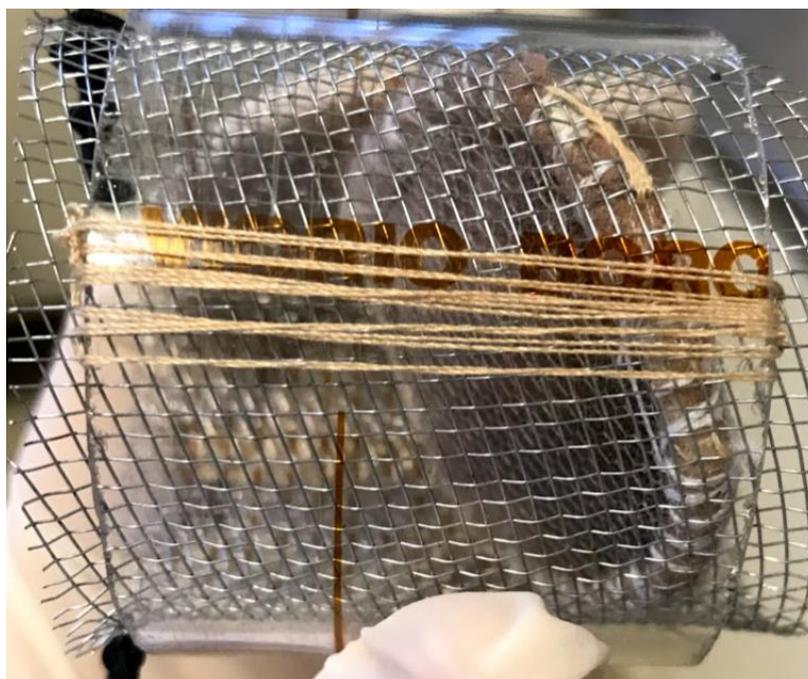


Figura 6. 44. Disposición del filtro en el interior del tubo de alambre de aluminio.

El soporte con los filtros, rellenos con carbón activado, se coloca en el interior del tubo de vidrio de borosilicato, donde se procura que la superficie externa del soporte coincida en su totalidad con la superficie interna del tubo de vidrio. (Figura 6.45.)



Figura 6. 45. Prototipo del tubo adsorbente preparado para ser utilizado.

El tubo de vidrio de borosilicato cumple la función de soporte y protección del conjunto formado por el filtro con el carbón activado y el tubo de alambre de aluminio que brinda soporte a los filtros, evitando que éstos se muevan durante el monitoreo, perdiendo las muestras, o que impacten contra el motor, perjudicando el hardware del prototipo, incluso la misma tobera.

En lo que respecta a los filtros, los mismos se fabricaron con alambres de aluminio, formando aros forrados con cinta de papel. Se utilizaron dos tipos de telas: lycra y tul, la capa interna, que está en contacto con el material adsorbente, es de lycra, mientras que la capa externa, que brinda contención a la muestra, es de tul. Ambas fueron seleccionadas para evitar la contaminación y pérdida de la muestra. Al estar cosidas alrededor del aro de alambre crean una especie de bolsa que permite colocar el material adsorbente en su interior.

Concluida la preparación de los filtros rellenos con el carbón activado y los tubos de soporte (tubo de aluminio y tubo de vidrio de borosilicato) (Figura 6.46.), denominados prototipo de tubos adsorbentes, se colocaron en bolsas de polietileno y en frascos de vidrio, para evitar la contaminación de los mismos.

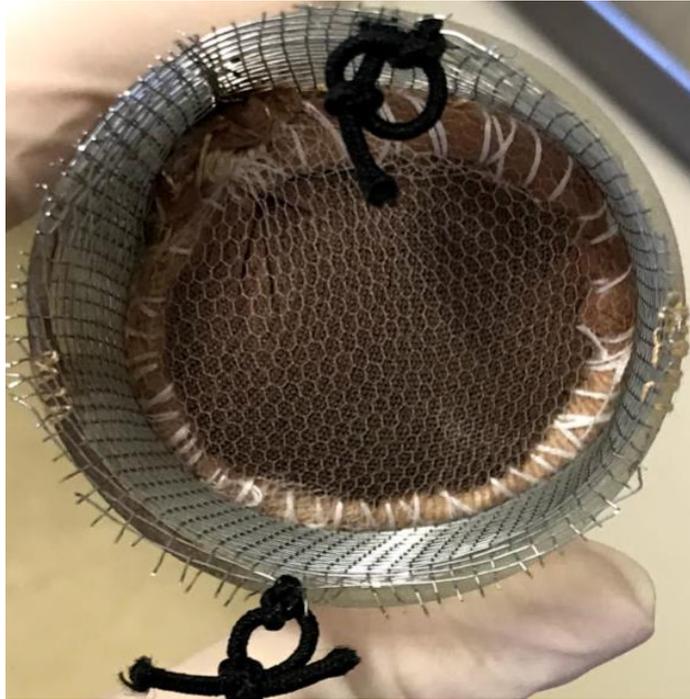


Figura 6. 46. Prototipo del tubo adsorbente en el interior de una bolsa de polietileno, para evitar la contaminación del material adsorbente.

Preparación del lugar para realizar el muestreo de la calidad del aire con el prototipo

Para concretar el muestreo de la calidad del aire con el prototipo diseñado se hizo uso de las instalaciones del Instituto de Ciencias y Tecnología de los Alimentos, lo cual fue posible por la gestión del co-asesor del presente trabajo final y Director del Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos, el Dr. Abel López. Se utilizó uno de los laboratorios, del establecimiento, equipado con una campana, necesaria para simular el área a monitorear con el prototipo. De esta manera, se colocó el equipo de medición en el interior de la campana, se introdujo los prototipos de tubos adsorbentes (*Figura 6.47.*) en la zona de la garganta de la tobera convergente-divergente del equipo y se conectó la fuente de alimentación del mismo (batería). (*Figura 6.48.*)



Figura 6. 47. Prototipo del tubo adsorbente en el interior de una bolsa de polietileno, para evitar la contaminación del material adsorbente.



Figura 6. 48. Preparativos para la toma de la muestra en la cámara.

Por otro lado, se procedió a la preparación del plaguicida a determinar cualitativamente por el prototipo, para lo cual se diluyó una medida determinada de plaguicida en un volumen preciso de agua destilada, esta mezcla se colocó en un difusor, y se agito durante unos segundos.

Resulta importante destacar que, por tratarse de productos tóxicos, se respetaron todas las medidas de seguridad en relación con la manipulación y el uso de los plaguicidas, se utilizaron guantes de látex, barbijos, chaquetas y máscaras de protección.

Luego, se encendió el prototipo para comenzar con el monitoreo, (*Figura 6.49.*) y en el momento que comienza la medición propiamente dicha, se roció el interior de la campana con la mezcla del plaguicida PIRFOS GLEX. (*Figura 6.50.*)



Figura 6. 49. Puesta en funcionamiento del prototipo de medición previo a la aplicación del plaguicida en la cámara.



Figura 6. 50. Aplicación del plaguicida a detectar (interior de la cámara).

Se realizaron un par de mediciones, con un tiempo de monitoreo de 5 minutos por medición. Entre cada una de las mediciones, se intercambiaron los prototipos de tubos adsorbentes para evitar contaminación alguna. (Figura 6.51.)



Figura 6. 51. Toma de la muestra durante el funcionamiento del prototipo (interior de la cámara).

Finalizado la toma de las muestras, se etiquetaron, con rótulos, cada uno de los prototipos de los tubos adsorbente con las muestras, los cuales se colocaron, nuevamente en bolsas de polietileno y, luego, en frascos de vidrio. Por otro lado, se apagó el prototipo de medición y se desconectó la fuente de alimentación del mismo.

Además, se llevó a cabo la limpieza del prototipo, en especial de la tobera convergente-divergente, siguiendo con las indicaciones relacionadas con la limpieza de los materiales utilizados con plaguicidas. También, se limpió la campana del laboratorio.

Análisis cualitativo de las muestras para determinar el funcionamiento del prototipo medidor de la calidad del aire

El proceso de desorción de las muestras obtenidas de las mediciones estuvo a cargo del Dr. Abel López en las instalaciones del Instituto de Ciencias y Tecnología de los Alimentos.

La desorción térmica es una técnica que se utiliza para el análisis de compuestos orgánicos volátiles en muestras gaseosas (Figura 6.52.). Las muestras en fase gas se recolectaron en los prototipos de tubos adsorbentes rellenos con carbón activado (Figura 6.53.), posteriormente los tubos de desorción (Figura 6.54.) se introdujeron en los equipos de desorción térmica, los cuales elevan la temperatura de los tubos (Figura 6.55.), liberando los compuestos orgánicos volátiles presentes en la muestra. Luego, éstos compuestos orgánicos volátiles se vuelven a concentrar y calentarse rápidamente liberando los mismos compuestos directamente al inyector del Cromatógrafo de Gases o Cromatógrafo de Gases/ Espectrometría de Masas.

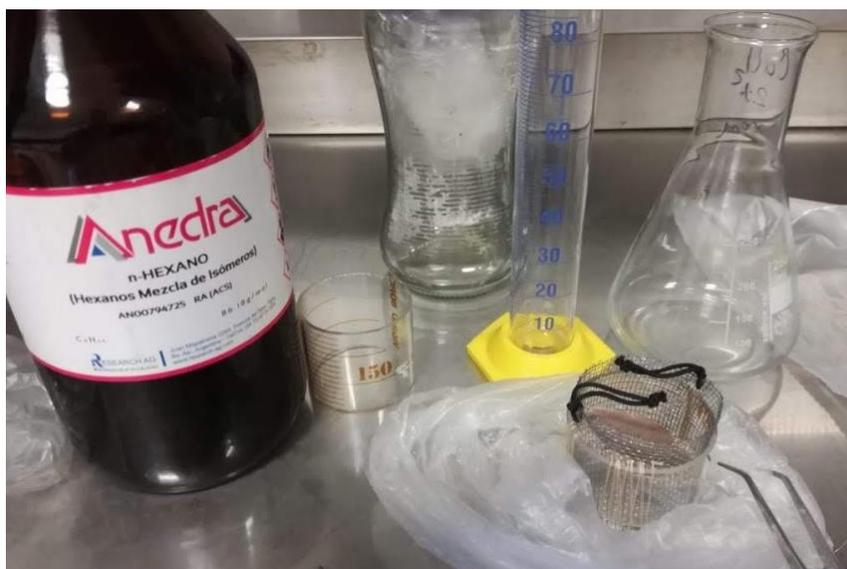


Figura 6. 52. Muestra obtenida de las mediciones con el prototipo medidor con carga.



Figura 6. 53. Filtro utilizado en la medición del plaguicida PIRFOS GLEX.



Figura 6. 54. Desorción de los compuestos activos retenidos en el carbón activado con n-hexano.



Figura 6. 55. Evaporador rotatorio con vacío para el proceso de concentración de la muestra.

6.8. RESULTADOS

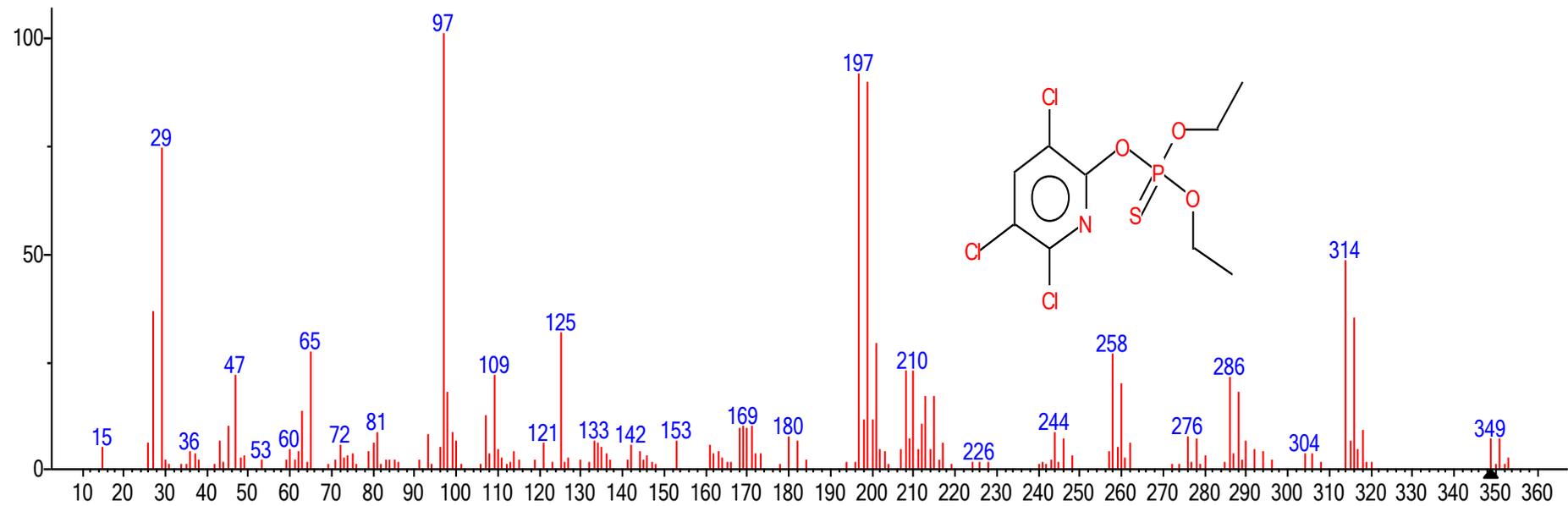
Finalizado el proceso de desorción de las muestras, las mismas fueron enviadas al Laboratorio de Fitoquímica del Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal (IMBIV) del CONICET, localizado en la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad de Córdoba, en el cual la Dr. Marcela Palacio y el Dr. Pablo Cortina realizaron el análisis cualitativo del clorpirifós (principio activo del plaguicida utilizado, PIRFOS GLEX) de las muestras obtenidas durante la puesta en funcionamiento del prototipo medidor de la calidad del aire, mediante la técnica de Cromatografía de Gases/ Espectrometría de Masas.

Los resultados de los análisis de clorpirifós por Cromatografía de Gases/ Espectrometría de Masas (CG/EM) fueron los siguientes:

Datos del análisis del clorpirifos por CG/EM:

- Las muestras desecadas en eppendorf se resuspendieron en 100 μ L de hexano.
- Se inyectó 1 μ L de solución en el equipo GCMS en las siguientes condiciones:
- Se tomó como referencia una metodología de la EPA, método 527.
- Inyector: 250°C.
- Flujo: 1mL/min.
- Horno: 55°C x 0 min.
 - 20°C/min hasta 200°C.
 - Hold: 2 min
 - 4°C/min hasta 300°C.
 - Hold: 0.75 min.
- Tiempo total: 35 min.
- MS: Solvent Cut: 5 min. m/: 50-400.

Datos del espectro de masas de Clorpirifos (*Figura 6.56.*)



(mainlib) Chlorpyrifos

Figura 6. 56. Datos del espectro de masas de Clorpirifos.

Name: Chlorpyrifos

Formula: C₉H₁₁Cl₃NO₃PS

MW: 349 CAS#: 2921-88-2 NIST#: 52493 ID#: 60373 DB: mainlib

Other DBs: Fine, RTECS, EPA, EINECS, IRDB

Contributor: MASS SPECTROMETRY CENTER, UNIV. OF UTAH EPA-PTSEL
2900

10 largest peaks:

97 999 | 197 905 | 199 884 | 29 733 | 314 474 |
27 357 | 316 345 | 125 308 | 201 283 | 65 266 |

Synonyms:

1. Dursban
2. Phosphorothioic acid, O,O-diethyl O-(3,5,6-trichloro-2-pyridinyl) ester
3. Phosphorothioic acid, O,O-diethyl O-(3,5,6-trichloro-2-pyridyl) ester
4. Chlorpyrifos
5. Chlorpyriphos
6. Chlorpyriphos
7. Chlorpyrophos

El cromatógrafo de la muestra 1 (Figura 6.57.)

Clorpirifos1_2 Abel 090818

, 09-Aug-2018 + 11:27:09

Scan EI+
TIC
9.04e8

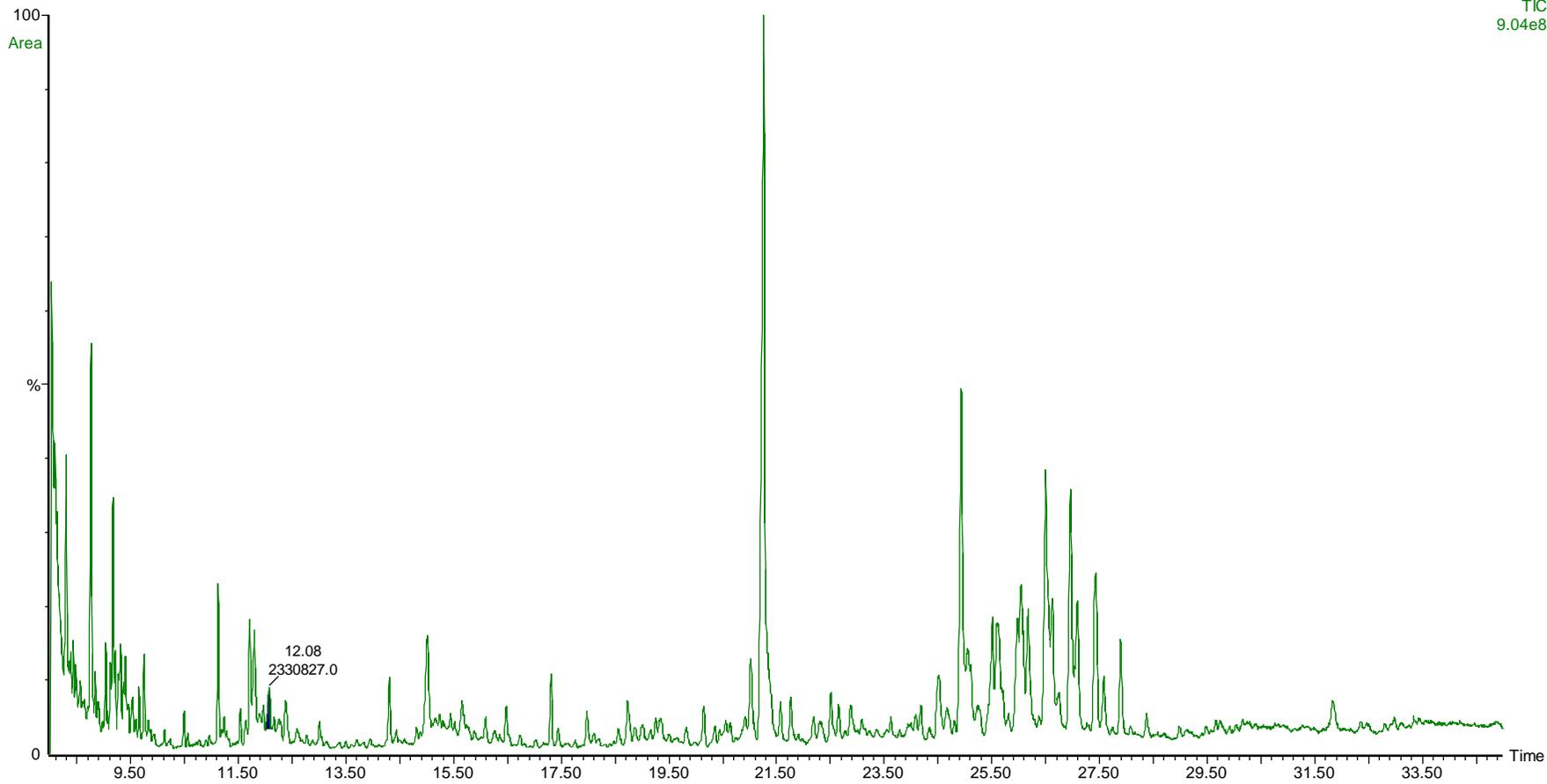


Figura 6. 57. Cromatograma de la Muestra 1.

Resultados de la Muestra 1:

Comparación de los espectros de masas de la señal de interés y el espectro de la biblioteca NIST (Azul: Espectro de la biblioteca, Rojo: Espectro del cromatograma). Los fragmentos observados (m/z) se condicen con los esperados en la biblioteca. ***El porcentaje fue del 70% de coincidencia (Figura. 6.58.).*** Puede deberse a la baja intensidad de la señal y la gran cantidad de ruido que hay en la zona del cromatograma. (Figura 6.59.)

Ampliación de la zona de interés

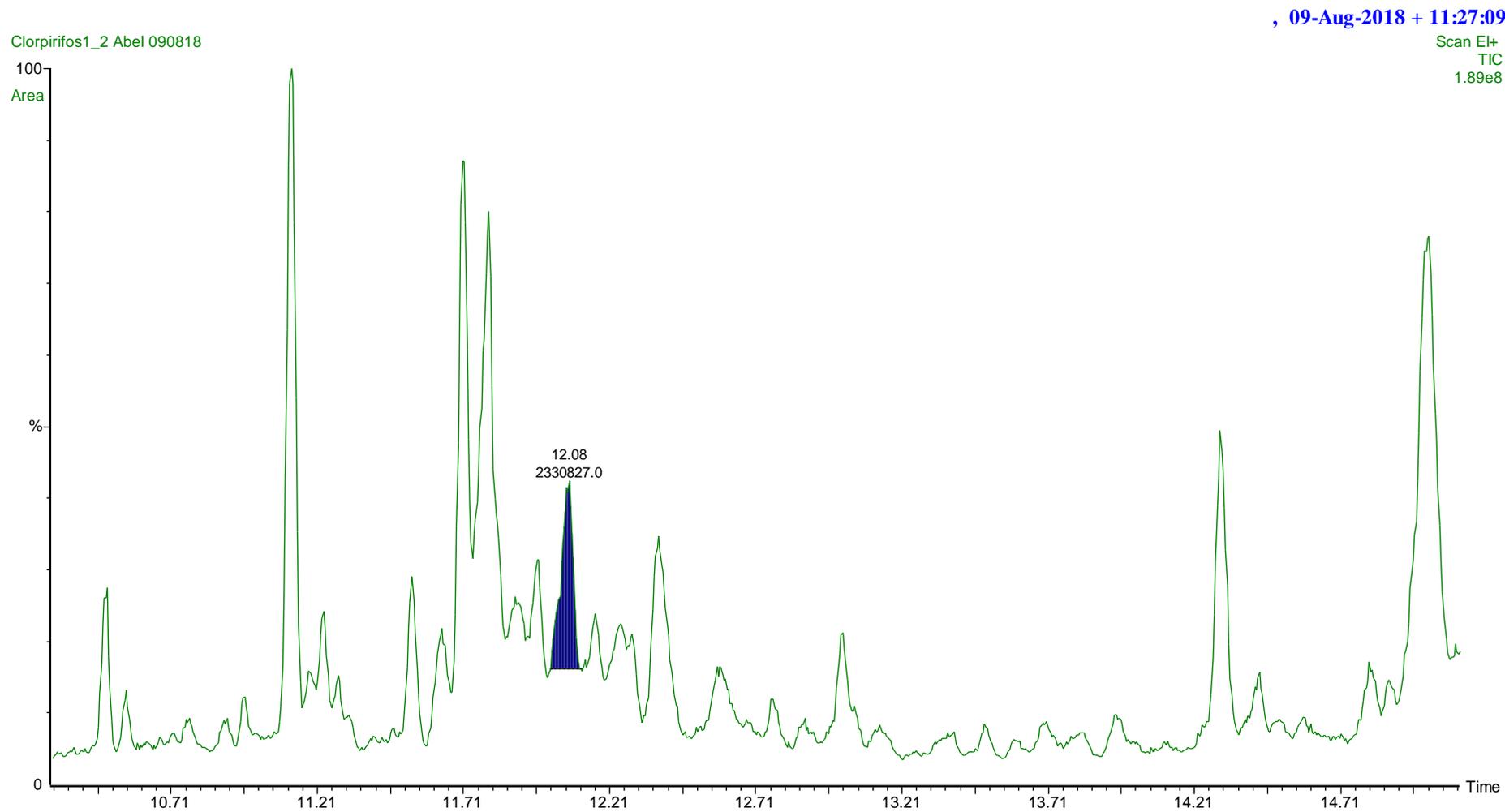


Figura 6. 58. Ampliación de la zona de interés de la muestra 1.

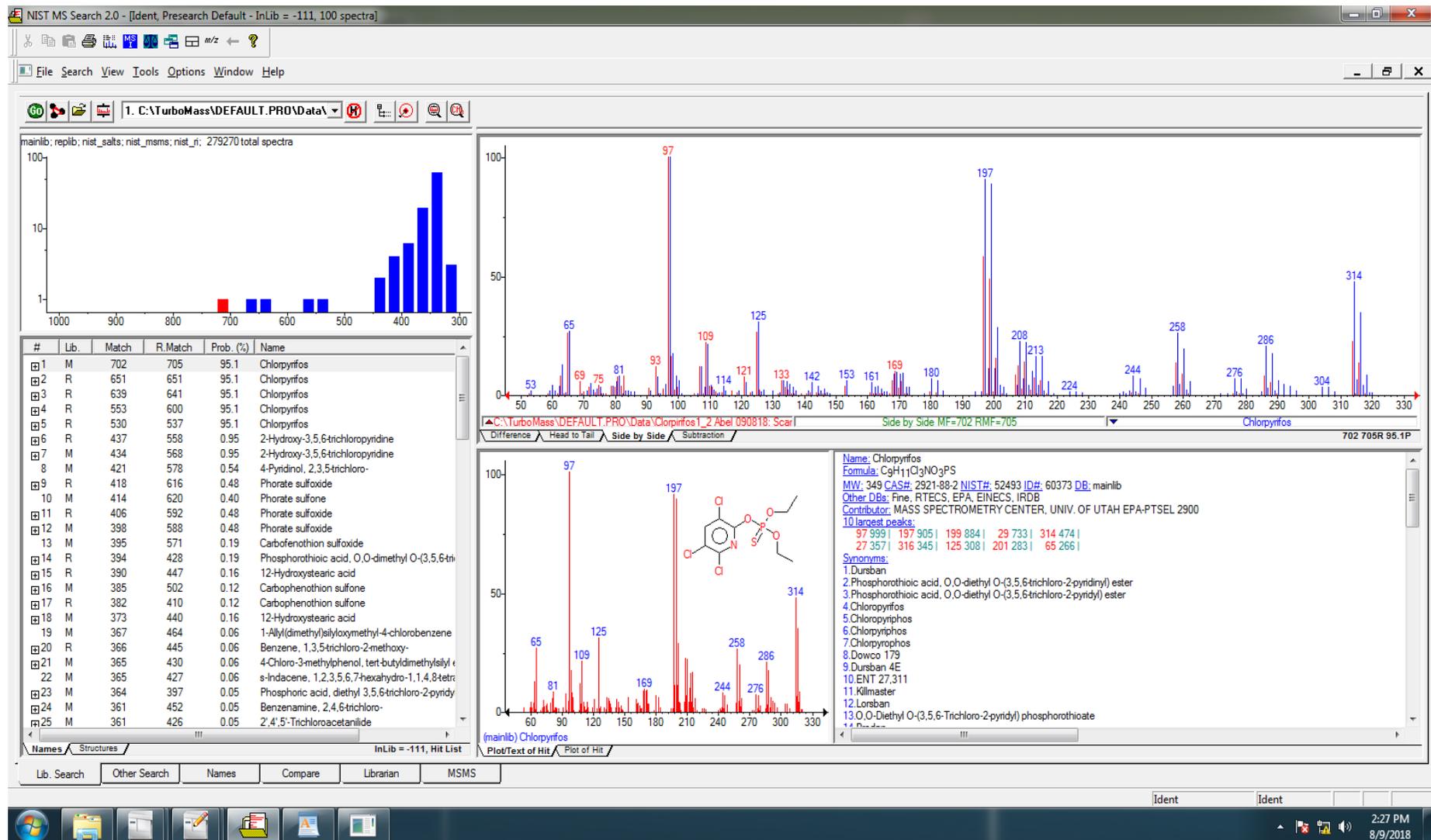


Figura 6. 59. Resultados del análisis del espectro de masa de la muestra 1.

De lo expuesto anteriormente, se observa que el prototipo medidor de la calidad del aire cumple con los objetivos planteados en el presente trabajo final, pues permite determinar cualitativamente la presencia de plaguicidas en una zona determinada.

De esta manera se verifica que el diseño, dimensionamiento y construcción del prototipo es correcto, y cumple con la función para la cual fue creado.

VII. CONCLUSIONES

Considerando los objetivos planteados en el proyecto integrador, se cumplió la implementación práctica de un prototipo medidor de la calidad del aire para la detección de contaminantes atmosféricos en aplicaciones agropecuarias.

Se considera que con la implementación del prototipo en futuras mediciones de la calidad del aire se puede determinar cualitativamente de una manera simple y en un periodo de tiempo breve la presencia de plaguicidas en la zona donde se efectuó el monitoreo. Asimismo, los costos de operación son menores en relación con el equipamiento utilizado en la actualidad.

Desde el punto de vista personal y profesional del grupo de trabajo, durante el proceso de elaboración y realización del proyecto final se pudo volcar una gran cantidad de conocimientos adquiridos a lo largo de la formación universitaria en Ingeniería Biomédica, como así también la incorporación de nuevos conocimientos relacionados como consecuencia de la investigación, relacionados con aerodelismo y medio ambiente.

El proyecto concluye con un producto final consistente en un prototipo medidor de la calidad de aire con el objetivo de determinar cualitativamente contaminantes atmosféricos en aplicaciones agropecuarias.

A su vez, se trata de un prototipo sujeto a posibles modificaciones, en su diseño como en su dimensionamiento, investigando soluciones viables a las limitaciones planteadas en el presente proyecto, relacionadas con el tamaño de las hélices disponibles en el mercado nacional, como así también la necesidad de varias fuentes de alimentación. En lo que respecta a la reducción del tamaño del prototipo, hélices de menor diámetro posibilitan un redimensionamiento en el diseño del equipo. Actualmente, se encuentran disponibles, en el mercado, una mayor variedad en comparación con lo disponible al comenzar el trabajo integrador. Por otro lado, al tratarse de un equipo de medición estático, la batería podría reemplazarse por otras fuentes de alimentación, posibilitando un mayor número de mediciones, sin la necesidad de cambiar o cargar la batería luego de cada medición.

Además, se piensa que si la puesta en marcha del monitoreo de la calidad del aire se convierte en un procedimiento accesible, económicamente, como de capacitación del personal, el control de la contaminación del aire puede mejorar considerablemente. Luego, la implementación del prototipo constituye una valiosa herramienta para el estudio del medio ambiente, en especial la calidad del aire, pues permite llevar a cabo el monitoreo aéreo en diversos lugares de manera eficaz, en un tiempo breve y siguiendo un procedimiento de puesta en marcha y medición sencillo, beneficiando a los interesados en el monitoreo aéreo del lugar y, principalmente, al medio ambiente.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales España – Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. NTP 23: Toma de muestra de contaminantes mediante absorbentes sólidos. Norma general. España, 1982. Recuperado de http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/001a100/ntp_023.pdf.
- Loomis Dana, Guyton Kathryn, Grosse Yann, El Ghissasí Fatiha, Bouvard Véronique, Benbrahim-Tallaa Lamia, Guha Neela, Mattock Heidi, Straif Kurt. **Carcinogenicidad del lindane, DDT, y 2,4- acid Dichlorofhenoxiacetico**. International Agency for Research on Cancer Monograph Working Group, IARC, Lyon, France. 22 June 2015. Recuperado de <http://reduas.com.ar/el-2-4d-es-posiblemente-cancerigeno-agencia-internacional-de-investigacion-del-cancer-de-la-oms/>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Adoptado por el 123° periodo de sesiones del Consejo de la FAO. Código Internacional de Conducta para la Distribución y Utilización de Plaguicidas. Noviembre 2002. Recuperada de <http://www.fao.org/3/a-a0220s.pdf>.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería de la provincia de Córdoba, Argentina. 29 de agosto 2016. Resolución N° 112. Recuperado de http://publicadord7.lavozdelinterior.net/sites/default/files/file_attachments/nota_periodistica/Res_112_2016_24D.pdf
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria Estación Experimental Agropecuaria Junín. 17 de mayo. 2018. Jornada sobre malezas y herbicidas en vid. Jorge Ernesto Bustos. Recuperado de <https://inta.gob.ar/documentos/manejo-de-malezas-en-vid>.
- Herbicidas para vid permitidos en producción integrada. Recuperado de <http://www.agroes.es/cultivos-agricultura/vid-vino-bodegas/vid-cultivo/809-herbicidas-para-vid-permitidos-en-produccion-integrada>
- Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial de Bogotá, Colombia. Febrero 2008. Protocolo de monitoreo y seguimiento de la calidad. Manual de operación de sistemas de vigilancia de la calidad del aire. Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/documents/51310/527391/Protocolo+para+el+Monitoreo+y+seguimiento+de+la+calidad+del+aire.pdf/6b2f53c8-6a8d-4f3d-b210-011a45f3ee88>.
- Consejos en la selección de motores electricos pequeños. <https://clr.es/blog/es/seleccion-motores-electricos-pequenos/>
- Curso completo de medición flujo – caudal <https://instrumentacionycontrol.net/category/control/instrumentacion-industrial/curso-completo-medicion-de-flujo-caudal/>
- Análisis de la Raspberry Pi. <https://descubrearduino.com/analisis-de-la-raspberry-pi-2/>
- Gobierno de la Ciudad de Bueno Aires.2012. Calidad de Aire Buenos Aires. Recuperado de <https://www.nist.gov/sites/default/files/documents/iaao/MariaLauraMayol.pdf>

- Universidad Autónoma de Madrid. Sede electrónica. Unidad de Espectrometría de Masas. Recuperado de <https://uam.es/UAM/SIdIUnidadEspectrometriaMasas/1242668321125.htm?langua ge=es&nodepath=Unidad%20de%20Espectrometr?a%20de%20Masas>
- Electro Industria. Plataformas de Desarrollo basadas en Microcontroladores. Recuperado de www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=1539
- PARALAXX INC. BASIC Stamp Editor Software for Windows. Recuperado de <https://www.parallax.com/downloads/basic-stamp-editor-software-windows>
- BASIC Stamp. Recuperado de <http://www.aprenderobotica.com/group/eslaprimera vez/page/principiantes-basic-stamp>
- ¿Qué es Arduino? Recuperado de <http://arduino.cl/que-es-arduino/>
- Guía de Arduino. Recuperado de <https://www.xataka.com/especiales/guia-del-arduinomaniaco-todo-lo-que-necesitas-saber-sobre-arduino>
- Microcontroladores o Arduino. Recuperado de <http://panamahitek.com/microcontroladores-o-arduino-no-es-lo-mismo/>
- Alimentación Arduino. Recuperado de <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2016/11/09/alimentacion-arduino/>
- Motores Brushless. Recuperado de <http://www.quarduino.com/guia-2/materiales-necesarios-1/motores-brushless>
- Guía de Motores brushless. Recuperado de <https://www.tecnocio.com/blog/guia-motores-brushless-que-son-como-funcionan-caracteristicas-precios/>
- Motor brushless (sin escobillas). Recuperado de <http://masteringenieros.com/wp-content/uploads/pdf/MI50N/-www-adsnt-recursos-masteringenieros-file-motor.pdf>
- Motor brushless 3536-06 1270kv. Recuperado de <http://www.hobbymodelismo.es/motor-brushless-3536-06-1270kv-p-197676.html>
- Motor eléctrico brushless: Funcionamiento y características. Recuperado de: <https://1mecanizadoelarenal.files.wordpress.com/2013/11/motores-brushless.pdf>
- Página web: EcuRed. Motor eléctrico. Recuperado de https://www.ecured.cu/Motor_eléctrico
- Flores Videla, Andrés. MANUAL DE MOTORES ELÉCTRICOS. (s.f.). Recuperado de <http://kimerius.com/motores-eléctricos-3/>
- Enrique Crespo. Aprendiendo Arduino. (s.f.). Recuperado <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2017/06/19/arduino-vs-raspberry-pi-3/>.
- Conversor Voltaje DC-DC Step-up 2-5 A XL6009. Página web: NAYLAMP MECHATRONICS. Recuperado de <https://naylampmechatronics.com/conversores-dc-dc/125-convertidor-voltaje-dc-dc-step-up-2p5a-xl6009.html>
- Disposición 2659/2008 (con las modificaciones de la Disp. ANMAT N°3145/2009). Recuperado de http://www.anmat.gov.ar/webanmat/Legislacion/Domisanitarios/Disposicion_ANM AT_2659-2008.pdf.

- Resúmenes de Salud Pública – Clorpirifos (Clorpyrifos). Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR en Español). 6 de mayo del 2016. Recuperado de https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs84.html
- Hoja de seguridad Pirfos GLEX. Vía Rural Portal Web. (s.f.). Recuperado de <https://www.viarural.com.ar/viarural.com.ar/insumosagropecuarios/agricolas/agroquimicos/gleba/pirfosglex.htm>.
- Erle-Copter Gitbook. (s.f.). Recuperado de <https://erlerobotics.gitbooks.io/erle-robotics-erle-copter/es/index.html>.
- Lcd 16x2. TodoElectrodo. (página web: blog). 10 de febrero de 2013. Recuperado de : <http://todoelectrodo.blogspot.com/2013/02/lcd-16x2.html>
- Traducción al español del informe “Herbicide tolerance and GM crops. Why the world should be Ready to Round Up glyphosate”. Greenpeace International. Junio 2011. Recuperado de <http://www.greenpeace.org/argentina/es/informes/Herbicide-tolerance-and-GM-crops/>
- MALHERBOLOGIA. Tema 9.- Principales familias de herbicidas: de acción foliar y traslocación; de contacto; con actividad a través del suelo. Universidad de Almería, España. (s.f.). Recuperado de: <https://w3.ual.es/personal/edana/bot/mh/temas/t9.htm>
- CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA. Página web EcuRed (Artículo página web). (s.f.). Recuperado de https://www.ecured.cu/Contaminación_Atmosférica#Contaminantes_naturales_del_aire.
- Video CROMATÓGRAFO DE GASES/ESPECTROMETRÍA DE MASAS. Grupo de Recursos para la Didáctica de la Química de la Universidad Politécnica de Cataluña – UPC Tv. (Página web). Octubre 2009. Recuperado de <https://tv.upc.edu/contenidos/cromatografia-de-gases-espectrometria-de-masas>.
- Álvarez Pelegry, Eloy; Menéndez Sánchez, Jaime; Bravo López, Manuel. Junio de 2018. Calidad del aire. Situación en España y escenarios a futuro para la CAPV, Madrid y Barcelona. Cuadernos Orkestra 2018/38 ISSN 2340-7638. Orkestra Instituto Vasco de Competitividad. Fundación Deusto. Recuperado de <https://www.orkestra.deusto.es/images/investigacion/publicaciones/cuadernos/calidad-del-aire.pdf>
- Dr. Manuel Romero Placeres, Lic. Francisca Diego Olite y Dra. Mireya Álvarez Toste. Mayo – Agosto, 2006. La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud. Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología. Revista Cubana de Higiene y Epidemiología, Ciudad de la Habana. *versión Online* ISSN 1561-3003
- Patricia Matus C. y Rodrigo Lucero Ch. Abril 2002. Norma Primaria de calidad del aire. Revista chilena de enfermedades respiratorias v.18 n.2. Santiago de Chile. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-73482002000200006>.
- Ramírez, J.A. y Lacasaña, M. Marzo de 2001. Plaguicidas: clasificación, uso, toxicología y medición de la exposición. Recuperado de <https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/36420187/216.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1537291934&Signature=7nPFbPdU7ajWaTp5LPl4XhK574g%3D&response-content->

[disposition=inline%3B%20filename%3DPlaguicidas_clasificacion_uso_toxicologi.pdf](#).

- Young, Hugh D y Roger A. Freedman. (2004). Física universitaria volumen 1. Decimosegunda edición. Person Educación de México S.A. de C.V.
- Bienvenida Gilberta López. 17 de diciembre de 2010. Tesis Doctoral NUEVAS METODOLOGÍAS BASADAS EN ESPECTROMETRÍAS DE MASAS PARA EL ANÁLISIS MULTI-RESIDUO DE PLAGUICIDAS Y OTROS CONTAMINANTES EN VEGETALES CON ALTO CONTENIDO GRASO Y EN PRODUCTOS ALIMENTICIOS DE ORIGEN VEGETAL. Recuperada de ruja.ujaen.es/bitstream/10953/339/1/9788484395836.pdf.
- Luis Felipe Granada Aguirre y Marino Valencia Rodríguez. 6 de Diciembre de 2010. La modelación y la gestión en el mejoramiento de la calidad del aire. Recuperada de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3986719>.
- Dr. Manuel Romero Placeres, Lic. Francisca Diego Olite y Dra. Mireya Álvarez Toste. Mayo – Agosto, 2006. La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud. Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología. Revista Cubana de Higiene y Epidemiología, Ciudad de la Habana. *versión On-line* ISSN 1561-3003
- Álvarez Pelegrí, Eloy; Menéndez Sánchez, Jaime; Bravo López, Manuel. Junio de 2018. Calidad del aire. Situación en España y escenarios a futuro para la CAPV, Madrid y Barcelona. Cuadernos Orkestra 2018/38 ISSN 2340-7638. Orkestra Instituto Vasco de Competitividad. Fundación Deusto. Recuperado de <https://www.orkestra.deusto.es/images/investigacion/publicaciones/cuadernos/calidad-del-aire.pdf>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2 de Mayo de 2018). “Calidad del aire y salud”. Recuperado de [www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- Patricia Matus C. y Rodrigo Lucero Ch. Abril 2002. Norma Primaria de calidad del aire. Revista chilena de enfermedades respiratorias v.18 n.2. Santiago de Chile. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-73482002000200006>.
- Ferran Ballester, Unidad de Epidemiología y Estadística. Escuela Valenciana de Estudios para la Salud. Marzo – Abril 2005. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA, CAMBIO CLIMÁTICO Y SALUD. Revista Española de Salud Pública 2005; 79: 159-175. *versión On-line* ISSN 2173-9110 *versión impresa* ISSN 1135-5727.
- Extraída de “INTRODUCCIÓN AL MONITOREO ATMOSFÉRICO”. Martínez, Ana Patricia; Romieu, Isabelle. ECO/GTZ/Departamento del Distrito Federal. Recuperado <http://www.bvsde.paho.org/bvsci/e/fulltext/intromon/intromon.html>

IX. ANEXO

9.1 NORMATIVA AMBIENTAL

9.1.1 ANTECEDENTES A NIVEL NACIONAL Y PROVINCIAL

Constitución Nacional de la República Argentina

La Constitución Nacional en lo que respecta a la regulación en materia de ambiental, la reforma de 1994, mediante el artículo 41 incorporó el derecho a un ambiente sano, apto y equilibrado estableciendo que "...corresponde a la Nación dictar las normas que contengan los presupuestos mínimos de protección, y a las provincias, las necesarias para complementarlas, sin que ellas alteren las jurisdicciones locales...".

Los alcances de la facultad nacional deben respetar lo dispuesto por el artículo 121 de la Constitución Nacional que establece que "...las provincias conservan todo el poder no delegado por esta Constitución al gobierno federal, y el que expresamente se hayan reservado por pactos especiales al tiempo de su incorporación...".

Asimismo, cabe mencionar que mediante el artículo 75, se incorporan al plexo normativo los Tratado Internaciones, con jerarquía superior a las leyes.

Antecedentes a nivel nacional

El Ministerio de Salud tiene una larga trayectoria en la gestión, programación y evaluación de la calidad de aire, así como en formación de recursos humanos.

Estas actividades fueron concretadas entre la Nación y las provincias de Santa Fe, Buenos Aires, Tucumán Córdoba, Mendoza, Jujuy y la Ciudad de Buenos Aires, articuladas a través de un Programa de Evaluación y Control de la Calidad de Aire en la República Argentina, integrando la Red Panamericana de Muestreo Normalizado de la Contaminación de AIRE (RED /PANAIRE/ CEPIS/ OPS) desde 1972 hasta 1982.

A partir del año 1987, el país tomó decisión de integrarse al Sistema de Vigilancia de Medio Ambiente, proyecto GEMS-AIRE\OPS\OMS, siendo coordinador la ex-Dirección Nacional de Calidad Ambiental.

Formaron parte de la Red las provincias de Buenos Aires, Córdoba, Jujuy, Mendoza, Santa Fe, Tucumán y Chubut, además de la Dirección Nacional de Calidad Ambiental.

Dicha Red de Laboratorios suspendió su actividad en el año 1990 debido a diversos factores.

La Dirección de Promoción y Protección de la Salud, a través del Departamento de Salud Ambiental considera de importancia revitalizar el tema desde el Eje de los Riesgos, con intención prioritariamente preventiva.

La información básica para evaluar la situación y cuantificar tendencias es limitada, y la información epidemiológica es muy escasa. El crecimiento poblacional en zonas urbanas aumenta los riesgos y el número de sujetos expuestos a los mismos, año tras año.

Por tal razón la Dirección de Promoción y Protección de la Salud comienza a partir de 1993 la gestión del Programa Nacional de Calidad de Aire y Salud en las provincias que históricamente trabajaron en el tema, integrando las Áreas de Vigilancia Epidemiológica con la Vigilancia Ambiental en las jurisdicciones.

Se realizaron con apoyo de OPS tres actividades relacionadas:

- Reunión de expertos en calidad de aire y salud-Santa Fe - noviembre/93.
- 1er Curso Taller de “Evaluación y manejo de riesgos por contaminación atmosférica” Mendoza - abril/95.
- 1er Curso-Taller sobre “Control de Calidad Analítica de laboratorios de aire”. Santa Fe mayo/ 96.

Algunas de las estaciones que operaron en el marco del GEMS-AIRE dejaron de funcionar. Sin embargo se han instalado nuevas estaciones bajo dependencia de las mismas instituciones provinciales o bajo organismos municipales que se integraron a la

Red Nacional de Calidad de Aire y Salud (1994 - 1997): normalizadas las metodologías de muestreo y análisis de los contaminantes y definida a nivel local la permanencia de las estaciones, esta información es reportada al Programa GEMS-AIRE OPS/ OMS.

Ley N°. 20.284 de “Salud Pública-Normas para la preservación de los recursos del aire”, sancionada y promulgada el 16 de abril de 1973. Establece normas de calidad de aire, con niveles de alerta y alarma.

Las provincias se adhieren a la misma o fijan sus propios niveles máximos de emisión de acuerdo a tipos de fuentes fijas.

Algunos municipios de las grandes ciudades han reglamentado localmente aspectos de las fuentes fijas y móviles con vistas a mejorar la calidad del aire

Ley N° 24.051 de Residuos Peligrosos -Promulgada el 8/1/1992, cuyo organismo de aplicación es la Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente Humano.

En su reglamentación indica estándares de emisiones gaseosas de fuentes fijas y niveles guía (para monitoreo de 30 minutos) para sustancias peligrosas.

Decreto 875/94 del 3/6/94 -Normas complementarias del Reglamento Nacional de Tránsito y Transporte.

Establece a la Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente Humano como Autoridad Competente para todos los aspectos relativos a emisión de gases contaminantes ruidos y radiaciones parásitas provenientes de automotores .Establece valores límite de emisiones y métodos de ensayos y medición.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable (Presidencia de la Nación)

La estructura normativa vigente en materia de residuos parte de considerar los Acuerdo Multilaterales ratificados en nuestro país en lo relativo a residuos y sustancias químicas. En el segundo nivel, se encuentran las leyes de presupuestos mínimos de protección ambiental, conformada por la Ley General del Ambiente, la Ley de Gestión Integral de Residuos Domiciliarios, la Ley de Gestión Integral de Residuos Industriales y Actividades de Servicio, la Ley de Gestión Integral de Envases Vacíos de Fitosanitarios y la Ley de Gestión y Eliminación de PCBs. Finalmente, la base de la estructura está compuesta por las Leyes Nacionales, entre ellas la Ley de Residuos Peligrosos, Ley de Obras sanitarias de la Nación y Ley de Contaminación Atmosférica.

Convenios Internacionales

Estructura normativa actual en materia de residuos a nivel país:

- Convenio de Rotterdam: Sobre el Procedimiento de Consentimiento Fundamentado Previo Aplicable a Plaguicidas y Productos Químicos Peligrosos Objeto de Comercio Internacional.
- Convenio de Basilea: Sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de los Desechos Peligroso y su Eliminación.
- Convenio de Estocolmo: Sobre los Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs).
- Convenio de Minamata: Sobre el Mercurio.
- SAICM: Enfoque Estratégico Internacional para la Gestión de los Productos Químicos.

Antecedentes a nivel provincial: Provincia de Córdoba

- Ordenanza 5203 - Sobre Control sanitario del enrarecimiento del aire en la ciudad de Córdoba.
- Ordenanza 8845 Concurso de proyectos integrales para la instalación de dispositivos de reducción de emisión de contaminantes de los transportes públicos y privados. 26/11/93.
- Decreto 45 (Reglamenta ordenanza Nro. 6936 - Control de humos (19/06/81).
- Ley Provincial 8167. Estado del aire. Contaminación. Sanción 03/06/1992. Publicación B.O: 14/07/1992.

9.2. LEGISLACIÓN VIGENTE A NIVEL NACIONAL Y PROVINCIAL

Legislación vigente a nivel país

Ley N° 24.051 de Residuos Peligrosos

La Ley de Residuos Peligrosos publicada en el Boletín Oficial el 17 de enero de 1992 vino a dar solución a la problemática generada como consecuencia del crecimiento industrial que comenzó a mediados del siglo pasado.

La reforma constitucional de 1994, con la incorporación de criterios ambientales de preservación y sustentabilidad; la inclusión expresa de normas de presupuestos mínimos; la modificación de los criterios de aplicación e interpretación de la norma por parte de la doctrina y jurisprudencia.

Al ser concebida como una ley de adhesión, trajo aparejada la permanente colisión con las normas locales, resultando conflictiva en la actualidad en cuanto a la delimitación de competencias entre la Nación y las Provincias.

Otros factores que contribuyeron a la desactualización de la ley y a incrementar sus vacíos legales son la implementación de nuevas tecnologías, la necesidad de disminuir la disposición final de residuos mediante técnicas de reutilización, reciclado, utilización como insumo o materia primas sustitutiva, la implementación de mejores técnicas

disponibles y mejores prácticas ambientales, y los principios de prevención y minimización de cantidad y peligrosidad.

Por lo expuesto, resulta categórica la necesidad de contar con una Convenios Internacionales

El comercio internacional de sustancias y productos químicos, muchas veces se ha ejercidos sin que los países importadores tengan una buena información sobre aquello que reciben. Esta falta de información, sumada a la habitual debilidad de sus marcos normativos y de control, ha marcado desigualdades que se expresan en la importación y uso de sustancias que están prohibidas o reguladas en los países industrializados. Así surgieron los principales Convenios Internaciones sobre Sustancias y Productos Químicos a los que nuestro país ha suscripto.

Se ha ratificado por medio de leyes, una serie de convenios, tales como: El Convenio de Basilea sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de los Desechos Peligrosos y su eliminación, el Convenio de Rotterdam sobre el Procedimiento de Consentimiento fundamentado previo aplicable a cierto Plaguicidas y Productos Químicos Peligrosos Objeto de Comercio Internacional.

En adición a los convenios, Argentina participa como Estado Parte, en el Enfoque Estratégico para la Gestión de Productos Químicos (SAICM por sus siglas en inglés) que constituye el marco para el fomento de políticas públicas para la gestión racional de productos químicos, de manera no vinculante.

Ley N° 13.577 de Obras Sanitaria de la Nación

El sistema de agua y saneamiento en nuestro país ha sido históricamente encabezado por la empresa estatal Obras Sanitarias de la Nación.

Ley N° 20.284 de Contaminación Atmosférica

Regula a todas aquellas fuentes capaces de producir contaminación atmosférica ubicada en jurisdicción federal, y en la de las provincias que adhieran a la misma. Esta ley es otro ejemplo de un texto normativo desactualizado, que nunca fue reglamentada ni revisada en relación a los estándares de emisión.

Asimismo, establece que tanto las normas de calidad de aire como los niveles máximos de emisión serán establecidos por la Autoridad Sanitaria Nacional, lejos del sistema constitucional de reparto de competencias que, en materia ambiental, estableciera luego la mencionada reforma constitucional.

En consecuencia, producto de la reglamentación que adoptó cada provincia en la esfera de su competencia, es que nos encontramos con un marco normativo heterogéneo y desactualizado, que demanda una regulación uniforme y común para todo el territorio nacional, sin perjuicio de la potestad complementaria que podrán ejercer las provincias.

Legislación vigente a nivel provincial

El Ministerio De Agua, Ambiente y Servicios Públicos de la Provincia de Córdoba publicó en el Boletín Oficial la Resolución N° 105/2017 que establece los nuevos

estándares ambientales o de emisión, en el marco de los Planes de Gestión Ambiental (PGA) regulados en la Ley 10.208 y Decreto Provincial 247/2015.

Los Planes de Gestión Ambiental son instrumentos continuos en el tiempo que permiten a la autoridad y al administrado, orientar su gestión ambiental. Se encuentran obligados a su elaboración y presentación todos los emprendimientos sujetos al deber de elaborar un Estudio de Impacto Ambiental (Anexo I de la Ley 10.208) y los que la Autoridad determine necesario. La Provincia de Córdoba no contaba con estándares ambientales propios en materia de aire, y utilizaba como referencia los de la Provincia de Buenos Aires.

Los estándares aprobados toman diversas fuentes de referencia tales como la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (United States Environmental Protection Agency. USEPA) y la Organización Mundial de la Salud (OMS). La Ley 8167 sobre preservación del aire aplicada por el Ministerio de Salud, se ve completada por dicha resolución 105/17.

El restante marco regulatorio ambiental en conjunto con la Ley de Residuos Peligrosos (emisiones gaseosas, Ley 24051 y Decreto 2149/2003) y la Ley 9624 sobre prohibición de quema de neumáticos completa el aspecto regulado.

Legislación vigente a nivel internacional que se aplica a nivel nacional y provincial

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA)

La EPA se cataloga como una agencia reguladora la cual el Congreso de EE.UU., autoriza a escribir normas y reglamentos que explican los detalles técnicos, operacionales y legales necesarios para implementar las leyes. Los reglamentos son requisitos obligatorios que se pueden aplicar a individuos, negocios, gobiernos estatales y locales, instituciones sin fines de lucro, entre otros.

Los reglamentos son codificados anualmente en el Código de Reglamentos Federales de EE.UU. (CFR, por sus siglas en inglés).

Hacer cumplir las leyes ambientales es una parte central del Plan estratégico de la EPA para proteger la salud humana y el medio ambiente. La EPA trabaja para asegurar el cumplimiento de las normas ambientales. Una vez garantizado esto, tomará medidas para la aplicación de leyes penales y civiles contra aquellas personas que hayan infringido las leyes ambientales.

Una de las prioridades de la EPA es proteger a las comunidades que han sido afectadas desproporcionadamente por la contaminación ambiental.

La EPA integra la justicia ambiental en las siguientes áreas:

- planeamiento e implementación de los programas de aplicación y cumplimiento de la ley;
- identificación de los casos en los que se debe intervenir y;
- desarrollo de soluciones para beneficiar a las comunidades más afectadas.

Ley del Aire Limpio (Clean Air Act)

La Ley de Aire Limpio es una ley federal de los Estados Unidos diseñada para controlar la contaminación del aire a nivel nacional. Es una de las primeras y más influyentes leyes ambientales modernas de los Estados Unidos, y una de las leyes de

calidad del aire más completas del mundo. Es administrado por la agencia de protección del medio ambiente de los EE.UU. (EPA), en la coordinación con los gobiernos estatales y locales. Sus reglamentos de aplicación están codificados en 40 CFR Subcapítulo C, Partes 50-97.

La Ley de Control de la Contaminación del Aire de 1955 fue la primera legislación federal de los Estados Unidos que se refería a la contaminación del aire. También proporcionó fondos para la investigación del gobierno federal sobre la contaminación del aire. La primera ley federal que realmente se refiere al control de la contaminación atmosférica fue la Ley del Aire Limpio (Clean Air Act) de 1963. La ley de 1963 logró establecer un programa federal dentro del Servicio de Salud Pública de los Estados Unidos y autorizó la investigación de técnicas de monitoreo y control de la contaminación del aire.

Las enmiendas de 1990 trataron la lluvia ácida, el agotamiento del ozono y la contaminación tóxica del aire, establecieron un programa nacional de permisos para fuentes estacionarias y aumentaron la autoridad de aplicación.

En la Extensión de la Ley del Aire Limpio de 1970, el Congreso amplió enormemente el mandato federal al requerir regulaciones federales y estatales para las fuentes industriales y móviles. La ley estableció cuatro nuevos programas reguladores:

- Normas nacionales de calidad del aire ambiente (NAAQS)

Se demandaba que la EPA promulgara estándares nacionales para seis contaminantes criterio:

- Monóxido de carbono.
- Dióxido de nitrógeno.
- Dióxido de azufre.
- Material particulado.
- Hidrocarburos.
- Oxidantes fotoquímicos.

Los **Estándares Nacionales de Calidad del Aire** Ambiental de los Estados Unidos (**NAAQS**) son normas establecidas por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) bajo la autoridad de la Ley de Aire Limpio (The Clean Air Act, CAA)). Las normas primarias están diseñadas para proteger la salud humana, con un adecuado margen de seguridad, incluyendo poblaciones sensibles como niños, ancianos y personas con enfermedades respiratorias. Los estándares secundarios están diseñados para proteger el bienestar público (incluyendo los efectos sobre los suelos, el agua, los cultivos, la vegetación, los materiales artificiales, los animales, la vida silvestre, el clima, la visibilidad y el clima), los daños materiales, los peligros del transporte, los valores económicos y el confort personal Y el bienestar de cualquier efecto adverso conocido o anticipado de un contaminante.

- Planes de Implementación Estatal (SIP).
- Nuevas Normas de Desempeño de la Fuente (NSPS).
- Normas Nacionales de Emisiones para Contaminantes del Aire Peligrosos (NESHAPs).

La Ley de Aire Limpio (CAA, por sus siglas en inglés) exige que las obras en construcción y otras instalaciones tomen medidas para controlar el polvo (material particulado) proveniente de actividades industriales y de construcción.

El polvo y otras partículas aerotransportadas son una amenaza grave para la salud humana. Los ancianos, niños y personas asmáticas son especialmente sensibles a los efectos del polvo.

Los inspectores de la EPA hacen pruebas para determinar si hay emisiones orgánicas volátiles procedentes de instalaciones industriales cercanas. El inspector recolecta la muestra en un recipiente SUMMA.

Los esfuerzos de cumplimiento de la EPA tienen por objetivo reducir la quema en actividades industriales y, así, reducir las emisiones de contaminantes, entre ellos, compuestos orgánicos volátiles y hollín.

La EPA inspecciona las fuentes estacionarias de contaminación del aire, tales como centrales eléctricas y fábricas, para evaluar el cumplimiento de los requisitos aplicables bajo la Ley de Aire Limpio.

La EPA cuenta con un laboratorio móvil de detección remota para determinar si hay contaminantes en el aire en las líneas de vallado de las instalaciones industriales, áreas residenciales y otras ubicaciones remotas.

Los equipos de detección remota pueden utilizarse para detectar benceno, polvo y otros contaminantes que podrían transportarse con el viento desde refinerías y otras instalaciones industriales.

Bajo la Ley de Aire Limpio, la EPA regula las emisiones de contaminantes de fuentes móviles y estacionarias.

Clasificación de fuentes de emisiones de contaminantes según EPA

Fuentes estacionarias

Las fuentes estacionarias incluyen instalaciones como fábricas y plantas químicas, que deben instalar equipos de control de la contaminación y respetar límites de emisión específicos bajo la CAA.

Revisión de fuentes nuevas y prevención de deterioro significativo (NSR y PSD respectivamente, por sus siglas en inglés). Estos requisitos exigen que determinadas instalaciones industriales grandes instalen equipos de control de la contaminación de avanzada al construir nuevas instalaciones o hacer modificaciones en las ya existentes. Si no se instalan estos equipos, las emisiones de contaminantes resultantes pueden deteriorar la calidad del aire y dañar la salud pública.

Una de las iniciativas nacionales de implementación de la ley de la EPA consiste en disminuir la contaminación del aire proveniente de las fuentes de emisiones más importantes. La EPA está tomando medidas para eliminar o minimizar las emisiones de centrales eléctricas alimentadas con carbón, plantas de fabricación de ácido, vidrio y cemento, y refinerías de petróleo.

- Centrales eléctricas alimentadas con carbón. Este sector genera emisiones de dióxido de azufre (SO₂) y emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x).

- Plantas que manufacturan ácido sulfúrico y nítrico que se utilizan en la producción de fertilizantes, sustancias químicas y explosivos. Las plantas de producción de ácido emiten miles de toneladas de vapor de óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre y ácido sulfúrico cada año.
- Plantas de fabricación de vidrio. Estas plantas emiten toneladas de NO_x, SO₂ y material particulado cada año.
- Plantas de fabricación de cemento, con emisiones de SO₂, NO_x y monóxido de carbono.
- Refinerías de petróleo, emisiones de NO_x, SO₂, benceno, compuestos orgánicos volátiles y material particulado.

Fuentes Móviles

Los motores de los vehículos, los vehículos recreativos y los motores en general deben cumplir los estándares de emisión de la CAA. Estos se aplican a coches, camiones, autobuses, vehículos recreativos, así como a motores, generadores, máquinas utilizadas en agricultura (por ej., con motores pequeños a gasolina, tales como los generadores, máquinas de cortar césped, motosierras, etc.), ganadería, construcción y jardinería, motores para embarcaciones (por ej., buques oceánicos y grandes barcos) y locomotoras. Además, la CAA también regula la composición del combustible que utilizan las fuentes móviles, tales como gasolina, diésel, etanol, biodiesel y mezclas de estos combustibles.

Listado de Métodos de Referencia y Métodos Equivalentes (40CFR. Parte 53. USEPA)

Métodos de referencia

El Método de referencia es un método de muestreo y análisis del aire ambiente para un contaminante atmosférico que se especifica como método de referencia en un apéndice del Listado de Métodos de Referencia y Métodos Equivalentes de acuerdo con el Título 40, Parte 53 del Código de Regulaciones Federales, o un método que ha sido designado como un método de referencia de acuerdo con el Título 40, Parte 53 del Código de Regulaciones Federales.

Método equivalente

El Método equivalente es un método de muestreo y análisis del aire ambiente para un contaminante atmosférico que ha sido designado como un método equivalente de acuerdo con el Título 40, Parte 53 del Código de Regulaciones Federales.

Estos métodos para medir las concentraciones ambientales de contaminantes atmosféricos especificados se han designado como "métodos de referencia" o "métodos equivalentes" de acuerdo con el Título 40, Parte 53 del Código de Regulaciones Federales (40 CFR Parte 53). Sujeto a cualquier limitación (por ejemplo, rango operativo o rango de temperatura) especificado en la designación aplicable, cada método es aceptable para su uso en sistemas de vigilancia de calidad del aire estatales o locales bajo 40 CFR Parte 58 a menos que la designación aplicable sea cancelada posteriormente. Los métodos automáticos para contaminantes distintos de PM₁₀ son aceptables para usarse solo a temperaturas de alojamiento entre 20 ° C y 30 ° C y tensiones de línea entre 105 y 125 voltios a menos que se especifiquen límites más amplios en la descripción del método. Los usuarios potenciales de los métodos enumerados deben señalar:

- 1- Qué cada método debe usarse estrictamente de acuerdo con su operación asociada o manual de instrucciones y con los procedimientos de garantía de calidad aplicables.
- 2- Qué la modificación de un método por parte de su proveedor o usuario puede causar la designación pertinente es inaplicable al método modificado.

La información técnica relativa a los métodos debe obtenerse contactando la fuente indicada para cada método. Para los analizadores o medidor de la calidad del aire PM10 vendidos antes de la designación de un método con el mismo número de modelo o similar, el número de modelo no necesariamente identifica un analizador o medidor de la calidad del aire como un método designado. Consulte al fabricante o vendedor para determinar si un analizador o medidor de la calidad del aire vendido previamente puede considerarse un método designado o si se puede actualizar al estado de designación. Los usuarios del analizador que experimenten dificultades operacionales o de otro tipo con un analizador o medidor de la calidad del aire designado y no puedan resolver el problema directamente con el fabricante del instrumento, pueden contactarse con EPA (preferiblemente por escrito) a la dirección antes mencionada para asistencia.

9.2. PROGRAMA ARDUINO DEL PROTOTIPO MEDIDOR DE LA CALIDAD DEL AIRE

```
/* SISTEMA DE MONITOREO AÉREO: "PROTOTIPO DE MEDICIÓN DE
CONTAMINANTES
* ATMOSFÉRICOS PARA APLICACIONES AGROPECUARIAS".
*/
```

```
#include <math.h> /* Librería para uso de fórmulas matemáticas en el funcionamiento
del Termistor NTC DEL MAF */
```

```
#include <Keypad.h> /* Librería para la lectura del teclado matricial */
```

```
#include <LiquidCrystal.h> /* Librería para uso del display LCD, de características:
33 ohms metal film 16 cátodo, 15 ánodo */
```

```
LiquidCrystal lcd (12,11, 5, 4, 3, 2); /*Crea una variable de tipo LiquidCrystal, con
los pines seleccionados de la placa
de Arduino para lectura, escritura, habilitación, y transmisión
de datos de la placa
Arduino al display LCD, respectivamente.*/
```

```
/* Variables relacionadas con el funcionamiento del MOTOR ELÉCTRICO
BRUSHLESS */
```

```
int Estado =1; /* Variable que puede tomar números enteros, de 16 bits, -32,768 a
32,76 */
```

```
int Activador_ESC =0; /* Variable que se utiliza para activar variador electrónico de
velocidad. Puede tomar valores enteros, de 16 bits */
```

```
int pin_motor =9; /* Pin digital de tipo PWM seleccionado de la placa Arduino para
enviar los pulsos al motor para su funcionamiento */
```

```
int Pulso=1000; /*Variable que se utiliza para inicializar el funcionamiento del
motor. El variador de velocidad, quien controla
al motor, admite una señal de control de modulación de ancho de pulso
PWM, cuyo período es de 20 ms, con un
intervalo de estado en alto entre 1 y 2 ms (1000-2000), el motor se mueve
a una velocidad comprendida entre los
límite mínimos y máximos. Sin embargo, en la práctica, lo expuesto
anteriormente no sucede. Luego, el motor comienza
a moverse a partir de un ancho de pulso de 1120 microsegundos, lo que
equivale a una mínima actuación del motor,
partiendo del reposo. Por su parte, en el límite superior sucede algo similar,
incrementando de forma gradual el
```

ancho de pulso, la velocidad máxima se alcanza en 1900 microsegundos, pero comienza a disminuir el ancho de pulso a los 2000 microsegundos, la velocidad comienza a decrecer sólo cuando se alcanza los 1800 microsegundos.*/*

/* Variables relacionadas con el funcionamiento del SENSOR DE FLUJO DE MASA DE AIRE (MAF - SENSOR IAT): variables utilizadas para la alimentación, control y recolección de datos relacionados con el caudal de flujo de masa de aire que circula de manera forzada (motor brushless) por la garganta del prototipo (tobera convergente-divergente) */

const int pin_MAF = A0; /* pin analógico A0 de la placa Arduino, utilizado para la recolección de datos que mide el sensor MAF (caudal de flujo de masa de aire). Este pin recibe una señal analógica (voltaje) que esta sensando el MAF cuando circula un flujo de masa de aire por el sensor, equivalente a una determinada cantidad de flujo de masa de aire. Luego, los valores varían con la variación del flujo de masa de aire que circula por la tobera Convergente-Divergente*/

float CaudalMonitoreado; /* Variable que almacena el valor sensado por el MAF, previa conversión a un valor en voltaje (V)*/

float Caudal_MasícoM; /*Variable que almacena el valor del caudal que se está monitoreando en cada instante, y permite chequear si se ha alcanza el valor total de caudal establecido.*/*

float Caudal_MasícoTotal; /* Variable que almacena el valor de la variable CaudalMonitoreado */

float Caudal_Masíco_Anterior = 0; /* Variable que se utiliza para comparar los valores del caudal monitoreado */

float Caudal_MasícoFinal; /* Variable que almacena el valor del caudal monitoreado al completarse el monitoreo */

const int pin_SensorIAT = A3; /*pin de la placa Arduino, pin Analógico A3 para el sensor de temperatura del flujo de masa de aire que circula por la tobera Convergente-Divergente*. Este pin recibe el valor resistivo (kilo ohm) del sensor IAT, el cual varía con el incremento o decremento del flujo de aire por la tobera convergente-divergente* Varía con el flujo de masa de aire que circula por la tobera Convergente-Divergente*/

```
int Valor_SensorMAF; /*(Variable que almacena el valor raw (0-1024) Variable que guarda el valor que devuelve el sensor del MAF cuando circula flujo de aire por la tobera Convergente-Divergente*/
```

```
float Valor_SensorMAF_Voltaje; /* Variable que almacena el voltaje (0-5V)*/
```

```
int Valor_SensorTemperatura; /* Variable que guarda el valor que devuelve el sensor del IAT cuando circula flujo de aire por la tobera Convergente-Divergente*/
```

```
/* VARIABLES DE TIEMPO PARA CALCULO DE TIEMPO DE MONITOREO */
```

```
unsigned long Tiempo; /* También se trata de una variable unsigned pues no tendrá valores negativos, tomando valores enteros de 32bits, de 0 a 2.147, 483,647 */
```

```
float TiempoMonitoreoMinutos; /* Variable que almacena el valor del tiempo de monitoreo en minutos */
```

```
float Tiempototal; /*Variable que almacena el valor del tiempo que transcurre desde que se activa la placa de Arduino hasta que finaliza el monitoreo */
```

```
float Tiempo_Anterior=0; /* Variable que almacena el valor de la variable TiempoMonitoreoMinutos */
```

```
/* VARIABLES UTILIZADAS EN EL CALCULO DE LA TEMPERATURA A TRAVES DEL SENSOR IAT*/
```

```
float vout=0.0; /* Variable para almacenar el voltaje de salida */
```

```
float rntc=0.0; /* Variable para NTC [ohm] según el vout */
```

```
float temperaturaK=0.0; /* Temperatura de salida en Kelvin [K] */
```

```
float TempGradC=0.0; /* Temperatura de salida en grados Celsius [°C] */
```

```
/* Valores fijos del circuito Termistor NTC del MAF */
```

```
float Rfija=34000.0; /* Resistencia fija [ohm] */
```

```
float vcc=5.0; /* Tensión de alimentación del circuito [V] */
```

```
float beta=3740.0; /* Constante característica de la NTC */
```

```

float temp25=298.0; /* Temperatura de referencia de 25°C expresada en Kelvin [K]
*/

float r25= 18900.0; /* Resistencia de la NTC a la temperatura 25 grados Kelvin [ohm]
(valor extraído de tabla)*/

/* TECLADO MATRICIAL */

char customKey;

const byte FILAS = 2; /* Defino el número de filas: 2 */

const byte COLUMNAS = 3; /* Defino el número de columnas: 3 */

char decKeys[FILAS] [COLUMNAS] =

{
  {'#','1','2'},
  {'0','*','3'},
};

const byte filasPins[FILAS] = { 14, 15}; /* Defino los pines de la placa Arduino para
filas */

const byte columnasPins[COLUMNAS] = { 16, 17, 18}; /* Defino los pins de la placa
Arduino para columnas */

Keypad customKeypad = Keypad (makeKeymap (decKeys), filasPins, columnasPins,
FILAS, COLUMNAS); /* Inicializa el teclado */

Keypad keypad = Keypad (makeKeymap (decKeys), filasPins, columnasPins,
FILAS, COLUMNAS);

void setup () {

    lcd.begin (16,2); /* Display LCD */
    Serial.begin (9600); /* Utilizo para chequear el funcionamiento a través del
monitor serial */
    pinMode (pin_motor, OUTPUT); /* Declaramos el pin del motor, como un
pin de salida */
    digitalWrite (pin_motor, LOW); /* Inicializamos el pin del motor en bajo
(pin_motor=0) */

```

```

/*-----*/
/*Al principio la leyenda MONITOREO AEREO en la primera línea, da comienzo al
programa de monitoreo, es decir que el programa
comienza con esta leyenda, luego se exhibe la leyenda CONTROL DE
VELOCIDAD Y CAUDAL, lo cual significa que una vez que se
enciende el motor, comienza el monitoreo propiamente dicho, que durara
aproximadamente 30 minutos, o el tiempo que sea requerido
por quien lleve a cabo el monitoreo. Durante el mismo, a través de sensor de flujo
de masa de aire con el sensor de temperatura IAT,
conocido como MAF, y mediante el empleo del software Arduino se determinará la
cantidad de aire que circula por la tobera
Convergente-Divergente, cuyo resultado se expresa en voltaje, el cual se
corresponde con el flujo de masa de aire expresado en litros/minutos, y
la temperatura del aire ambiente, mediante el sensor IAT, cuyo valor resistivo resulta
proporcional a la temperatura del aire expresada
en grados centígrados.
Finalizado el proceso, el motor se apaga, y se muestran por la pantalla los valores de
flujo de masa de aire y la temperatura medidos,
finalizando así el monitoreo aéreo */

```

```

/* DISPLAY LCD: MUESTRA EN PANTALLA */

```

```

/* Al principio se muestra en pantalla la leyenda "MONITOREO AÉREO", durante
un tiempo determinado (puede variar), luego aparece la leyenda
"control de VELOCIDAD y CAUDAL con MONITOREO, durante un tiempo
determinado (variable). */

```

```

/*----- Primero: Frase de bienvenida al Sistema de Monitoreo Aéreo -----
-----*/

```

```

/*
* Primera frase: "Bienvenidos al SISTEMA de"
*/

```

```

lcd.clear (); /* Limpiamos la pantalla del LCD, nos aseguramos que no haya quedado
ninguna frase anterior */
delay (100); /* retraso de 100 ms */
lcd.setCursor (2,0);
lcd.print ("Bienvenidos"); /* Comienzo de la frase de bienvenida al Sistema de
Monitoreo Aéreo */
lcd.setCursor (1,1);
lcd.print ("al SISTEMA de");
delay (3000); /* retraso de 3000 ms, lo cual permite al usuario visualizar
cómodamente la frase */
lcd.clear ();
delay (100);

```

```
/*  
 * Segunda frase: "MONITOREO de CONTAMINANTES"  
 */
```

```
lcd.setCursor (2,0);  
lcd.print ("MONITOREO de");  
lcd.setCursor (1,1);  
lcd.print ("CONTAMINANTES");  
delay (3000);  
lcd.clear ();  
delay (100),
```

```
/*  
 * Tercera frase: "ATMOSFERICOS para".  
 */
```

```
lcd.setCursor (2,0);  
lcd.print ("ATMOSFERICOS");  
lcd.setCursor (6,1);  
lcd.print ("para");  
delay (3000);  
lcd.clear ();  
delay (100);
```

```
/*  
 * Cuarta frase: "APLICACIONES AGROPECUARIAS"  
 */
```

```
lcd.setCursor (2,0);  
lcd.print ("APLICACIONES");  
lcd.setCursor (2,1);  
lcd.print ("AGROPECUARIAS");  
delay (3000);  
lcd.clear ();  
delay (100);
```

```
/*----- Segundo: Frase que expresa las Variables a medir durante el  
Monitoreo Aéreo -----
```

```
Frase: "Monitoreo Aéreo  
Evaluación de  
CAUDAL Y  
TEMPERATURA  
de FLUJO de  
MASA de AIRE"
```

```
*/
```

```

    lcd.setCursor (0,0); /* Primera línea del display, para dar inicio al Monitoreo
propriadamente dicho, con la frase: MONITOREO AEREO */
    lcd.print ("Monitoreo Aéreo");
    delay (3000);
    lcd.clear ();
    delay(100);
    lcd.setCursor (1,0); /* Primera línea del display, con un espaciado de 2 lugares, para
centrar la leyenda: */
    lcd.print ("Evaluacion de:"); /* control de Flujo de Masa de Aire y Temperatura del
Aire */
    delay (3000);
    lcd.clear ();
    delay (100);
    lcd.setCursor (3,0);
    lcd.print ("CAUDAL y");
    lcd.setCursor (2,1);
    lcd.print ("TEMPERATURA");
    delay (3000);
    lcd.clear ();
    delay (100);
    lcd.setCursor (2,0);
    lcd.print ("de FLUJO de");
    lcd.setCursor (2,1);
    lcd.print ("MASA de AIRE");
    delay (3000);

```

/*-----Tercero: VELOCIDAD DEL MOTOR -----

```

-----
Frase: "Velocidad
del motor
fijada: 75%-85%
equivalente a
1350 pulsos -
1530 pulsos
para máxima
eficiencia
del motor
Duración del
monitoreo:
55 minutos
de Monitoreo"

```

*/

```

    lcd.clear (); /* Limpiamos la pantalla del LCD, nos aseguramos que no haya quedado
ninguna frase anterior */

```

```

delay (100); /* retraso de 100 ms */
lcd.setCursor (3,0);
lcd.print ("Velocidad");
lcd.setCursor (3,1);
lcd.print ("del motor");
delay (3000);
lcd.clear ();
delay (100);
lcd.setCursor (0,0);
lcd.print ("fijada: 75%-85%");
lcd.setCursor (1,1);
lcd.print ("equivalente a:");
delay (3000);
lcd.clear ();
delay (100);
lcd.setCursor (1,0);
lcd.print ("1350 pulsos -");
lcd.setCursor (2,1);
lcd.print ("1530 pulsos");
delay (3000);
lcd.clear ();
delay (100);
lcd.setCursor (2,0);
lcd.print ("para Maxima");
lcd.setCursor (2,1);
lcd.print ("eficiencia");
delay (3000);
lcd.clear ();
delay (100);
lcd.setCursor (3,0);
lcd.print ("del motor");
delay (2000);
lcd.clear ();
delay (100);
lcd.setCursor (2,0);
lcd.print ("Duracion del");
lcd.setCursor (3,1);
lcd.print ("monitoreo:");
delay (3000);
lcd.clear ();
delay (100);
lcd.setCursor (3,0);
lcd.print ("15 minutos");
lcd.setCursor (2,1);
lcd.print ("de Monitoreo");
delay (3000);
lcd.clear ();

```

```

delay (100);

} //Fin del bloque SETUP () {}

void loop () {

Serial.println ("CAUDAL MASÍCO TOTAL: ");
Serial.println (Caudal_MasícoFinal);

if (Caudal_MasícoFinal >= 100000) { /*En caso de que el Caudal Másico Total =
100000 m3/min, se ha completado el monitoreo aéreo requerido,
lo cual da por finalizado el mismo, y se debe apagar el equipo
*/

lcd.clear ();
delay (100);
lcd.setCursor (0,0); /* Frase en display "MONITOREO
COMPLETO" */

lcd.print ("MONITOREO");
lcd.setCursor (8,1);
lcd.print ("COMPLETO");
delay (3000);
lcd.clear ();
delay (100);

/*Finalizado el muestreo de los contaminantes atmosféricos, es posible observar
por display los valores finales de la medición: CAUDAL TOTAL Y
TEMPERATURA AMBIENTE */

lcd.setCursor (2,0);
lcd.print ("Caudal Masíco");
lcd.setCursor (0,1);
lcd.print ("Total:");
lcd.setCursor (7,1);
lcd.print (float (Caudal_MasícoM),1);
lcd.setCursor (14,1);
lcd.print ("m3");
delay (6000);
lcd.clear ();
delay (100);
lcd.setCursor (0,0);
lcd.print ("Temperatura Amb:");
lcd.setCursor (3,1);
lcd.print (float (TempGradC) ,1);
lcd.setCursor (9,1);
lcd.print ((char) 223); /* Símbolo ° */
lcd.setCursor (10,1);
lcd.print ("C");
delay (6000);

```

```

        lcd.clear ();
        delay (100);
        lcd.setCursor (0,0);
        lcd.print ("FIN DE MONITOREO");
    }
else

    if (Caudal_MasicoFinal == 0) /*En el caso de que el Caudal Másico Total=0,
implica que el monitoreo no ha comenzado aún, razón
    por la cual, se dan las indicaciones necesarias para comenzar
con el muestreo de los contaminantes
    atmosféricos.*/
    {
/*Frase: "Para comenzar
con el monitoreo
Pulse # para
activar el motor"
*/
        lcd.clear ();
        delay (100);
        lcd.setCursor (0,0);
        lcd.print ("Para comenzar");
        lcd.setCursor (0,1);
        lcd.print ("con el monitoreo");
        delay (3000);
        lcd.clear ();
        delay (100);
        lcd.setCursor (2,0);
        lcd.print ("Pulse # para");
        lcd.setCursor (0,1);
        lcd.print ("activar el motor");
    }

    else { /*En caso de que el Caudal Másico Total sea diferente de cero, pero no haya
alcanzado el Caudal Másico Total establecido;
    el monitoreo aéreo debe continuar hasta llegar al valor establecido
previamente.*/

/* Frase: "MONITOREO
INCOMPLETO
Para continuar
con el monitoreo
Pulse # para
activar el motor"

*/

```

```

lcd.clear ();
delay (100);
lcd.setCursor (0,0);
lcd.print ("MONITOREO");
lcd.setCursor (6,1);
lcd.print ("INCOMPLETO");
delay (3000);
lcd.clear ();
delay (100);
lcd.setCursor (0,0);
lcd.print ("Para continuar");
lcd.setCursor (0,1);
lcd.print ("con el monitoreo");
delay (3000);
lcd.clear ();
delay (100);
lcd.setCursor (2,0);
lcd.print ("Pulse # para");
lcd.setCursor (0,1);
lcd.print ("activar el motor");}

```

```

Tiempo_Anterior = TiempoMonitoreoMinutos;
Caudal_Masíco_Anterior = Caudal_MasícoFinal;

```

```

Serial.println ("Falta monitorear para completar caudal");
Serial.println ("Tiempo Anterior");
Serial.println (Tiempo_Anterior);
Serial.println ("Caudal Masíco Anterior");
Serial.println (Caudal_Masíco_Anterior);

```

```

/*-----*/
-----*/

```

/*ACTIVACION DEL MOTOR*/

/*MOTOR

Se selecciona el pin 9 (pin digital PWM) como pin de salida, que envía la señal al motor brushless. Luego, para que el motor inicie su marcha, es necesario llevar a cabo la activación del variador electrónico de velocidad (ESC).

Una vez activado el variador (ciclo For, Activador_ESC), y con el intervalo de velocidad establecido, para optimizar

su funcionamiento, al llegar a la máxima velocidad, el motor está programado para funcionar un tiempo determinado, que permite

monitorear las variables seleccionadas. (Caudal y Temperatura).

La tecla pulsada: '#' se guarda en la variable customKey, es decir se guarda el caracter de la tecla pulsada por el operador. Luego,

se evalúa si la tecla pulsada es la correcta para iniciar la activación del ESC. De ser correcto, se procede a activar el mismo, y el motor alcanza la máxima velocidad de funcionamiento. El motor llevará a cabo el monitoreo durante el tiempo programado según lo indique el operador.

```
*/
```

```
while (1) {
```

```
    customKey = customKeypad.getKey (); /* Se guarda en la variable customKey el caracter de la tecla presionada */
```

```
    if (customKey == '#') ;{/* Si el caracter de la tecla presionada coincide con la tecla que indica el #,
```

```
        comienza la activación del motor.*/
```

```
    for (Activador_ESC=0; Activador_ESC < 500; Activador_ESC ++)
```

```
    {
```

```
        Serial.println ("ACTIVANDO ESC");
```

```
        digitalWrite (pin_motor, HIGH);
```

```
        delayMicroseconds (1100);
```

```
        digitalWrite (pin_motor, LOW);
```

```
        delay (20-(Pulso/1000)); /* retardo de (20 - 1)=19 ms, el tiempo que tarda en lleva a cabo la activación */
```

```
    }
```

```
Serial.print ("ACTIVACION ESC COMPLETA");
```

```
/*-----Mensaje en la pantalla display: "Monitoreando"-----*/
```

```
lcd.clear ();
```

```
delay (100);
```

```
lcd.setCursor (2,0);
```

```
lcd.print ("Monitoreando");
```

```
/* Puesto en marcha del motor, se comienza a incrementar la velocidad del motor, hasta llegar a su máxima velocidad establecida previamente en el programa*/
```

```
int Pulso = 1350; /* Pulso, es una variable entera de 16 bits, -32768 a 32768. Se establece un rango de velocidad del motor, determinado según las especificaciones del funcionamiento del motor para lograr su máxima efectividad.
```

```
El intervalo de medición es el siguiente: 75%-85% = 1350 pulsos - 1530 pulsos */
```

```
while (Pulso<=1530)
```

```
    { /*Pulso de 1530, motor funcionando a un 85% de su rendimiento */
```

```

        Serial.println ("Motor a maxima velocidad");
        digitalWrite (pin_motor, HIGH);
        delayMicroseconds (Pulso);
        digitalWrite (pin_motor, LOW);
        delay (20-(Pulso/1000));
        Pulso++;
    }

```

```

Serial.print ("MOTOR FUNCIONANDO A MAXIMA VELOCIDAD");

```

/* Cuando el motor alcanza su maxima velocidad, se procede a mantener la marcha del motor al máximo valor de velocidad alcanzado.

Alcanzada la velocidad deseada, comienza a contar el tiempo de monitoreo establecido previamente, lo cual implica que ha comenzado

el monitoreo propiamente dicho, en otras palabras, el muestreo de los contaminantes atmosféricos.*/

/* -----Para finalizar el monitoreo antes del tiempo previsto, aparece en pantalla la frase: "Cesar monitoreo Presione *"------*/

```

    lcd.setCursor (0,0);
    lcd.print ("Cesar Monitoreo");
    lcd.setCursor (3,1);
    lcd.print ("Presione *");

```

/* -----MONITOREO-----
-----*/

/* Con el uso de la función MILLIS, es posible mantener el motor funcionando a maxima velocidad durante el tiempo necesario para llevar

a cabo el monitoreo, se trata de un tiempo en minutos, en este caso se optó por un tiempo = 55 minutos, que se estableció de acuerdo

a los cálculos realizados teniendo en cuenta el caudal de flujo de masa de aire (m3) que circula por minutos, en el rango de velocidad

predeterminada para el óptimo funcionamiento del motor (80%-90%, y el caudal de aire que se desea muestrear para lograr una muestra de aire que sea representativa de la realidad.*/

```

Tiempo= millis ();

```

/*La función millis (), me permite contabilizar los 55 minutos de funcionamiento a maxima velocidad del motor brushless*/

```

float Tiempoantesmonitoreo= Tiempo; /*Utilizo la variable Tiempoantesmonitoreo para obtener el tiempo que ha transcurrido desde que se enciende la placa Arduino hasta que el motor alcanza

```

su máxima velocidad, es decir, el instante previo al inicio del monitoreo propiamente dicho, el tiempo de monitoreo preestablecido*/

```
Serial.println ("Tiempo antes de comenzar el monitoreo");  
Serial.println (Tiempoantesmonitoreo);/* SIRVE PARA CHEQUEAR VALORES */
```

```
while (millis () < Tiempo+ 3300000)/* 60000 */  
    { /* Para realizar la prueba, tomaremos un valor de tiempo =  
180000 milisegundos = 3 minutos, con el evaluar el  
desempeño del prototipo.  
Según los cálculos realizados con un tiempo de monitoreo de 3  
minutos, se obtiene un CAUDAL DE FLUJO DE MASA DE AIRE = 4960,8 m3/min  
El valor 3300000 = 55 minutos de monitoreo aéreo establecido,  
con este valor de tiempo logramos monitorear el mismo caudal de flujo  
de masa de aire que los equipos de monitoreo utilizados en la  
actualidad. Se trata de un volumen de aire igual a 100.000 litros  
durante 24 horas. */  
        digitalWrite (pin_motor, HIGH);  
        delayMicroseconds (Pulso);  
        digitalWrite (pin_motor, LOW);  
        delay (20-(Pulso/1000));  
        Serial.print ("motor on");/*CHEQUEA MOTOR  
FUNCIONANDO */
```

```
/* Durante el monitoreo, se debe tomar los valores que está sensando el sensor MAF  
*/
```

```
Valor_SensorMAF =analogRead (pin_MAF);
```

```
float fmap (float, float, float, float, float);
```

```
Valor_SensorMAF_Voltaje = fmap (Valor_SensorMAF, 0, 1023,0.0, 5.0); /* cambiar  
escala a 0.0V - 5.0V */
```

```
Serial.println ("valor:");
```

```
Serial.print (Valor_SensorMAF_Voltaje);
```

```
Serial.print (" ");/* CHEQUEAR LOS VALORES QUE DETECTA EL MAF */
```

```
/*Si el operador desea apagar el motor antes de finalizar el monitoreo.*/
```

```
customKey = customKeypad.getKey ();
```

```
    if (customKey == '*')
```

```
    {
```

```
        Serial.println (" El motor se apagará ");
```

```
        digitalWrite (pin_motor, LOW);
```

```
        break;
```

```
    }
```

```

        }/* Fin Función utilizada para monitorear un tiempo determinado
*/

float Tiempototal= millis (); /* Tiempo transcurrido desde que se activó la placa de
Arduino, hasta finalizar el monitoreo */

Serial.println ("Tiempo desde que se activó la placa de Arduino, hasta que termino el
monitoreo");

Serial.println (Tiempototal);

float TiempodemonitoreoMilisegundos= Tiempototal-Tiempoantesmonitoreo;

TiempoMonitoreoMinutos = ((TiempodemonitoreoMilisegundos*0.001)/60);/* En la
variable TiempoMonitoreo guardamos el valor del tiempo transcurrido para llevar a
cabo el monitoreo.

        Debemos realizar unas operaciones matemáticas con la
variable tiempo, ya que la unidad de medición de la variable tiempo
        es milisegundos, debemos convertirla a minutos*/

TiempoMonitoreoMinutos = TiempoMonitoreoMinutos + Tiempo_Anterior;

Serial.println ("Tiempo que dura SOLO EL MONITOREO");
Serial.println (TiempodemonitoreoMilisegundos);
Serial.println ("TIEMPOMONIT, ya convertí el tiempo de monitoreo de
milisegundos a minutos");
Serial.println (TiempoMonitoreoMinutos);

break;
    }
}

Serial.println ("motor OFF");

/* ----- Calculo del Voltaje - Caudal del Flujo de Masa de Aire ----
-----

Valor_SensorMAF =analogRead (pin_MAF);
Valor_SensorMAF_Voltaje = map (Valor_SensorMAF, 0,1023,0.0,5.0); //cambiar
escala a 0.0 - 5.0
Serial.print ("valor:");
Serial.print (Valor_SensorMAF);
Serial.print (" ");

```

```

delay (2000);

float map (float x,float in_min, float in_max, float out_min, float out_max)
{return (x-in_min)*(out_max - out_min)/ (in_max-in_min)+out_min;}

*/

CaudalMonitoreado = CalculoCaudalVoltaje (Valor_SensorMAF_Voltaje);

Caudal_MasícoTotal= CaudalMonitoreado;

/*CALCULO DEL CAUDAL MASÍCO: Mediante la función
CalculoCaudalVoltaje obtenemos como resultado el valor del Caudal, en función del
Voltaje sensado
por el Sensor MAF.*/

Caudal_MasícoM = (Caudal_MasícoTotal*TiempoMonitoreoMinutos);

Caudal_MasícoFinal = Caudal_MasícoM + Caudal_Masíco_Anterior;

Serial.println ("caudal masíco medicion");
Serial.println (Caudal_MasícoM);
Serial.println ("caudal masíco Final que es igual a sumar el caudal actual medido mas
el caudal anterior, es el total");
Serial.println(Caudal_MasícoFinal);

Serial.println("Tiempo total del MONITOREO; sumar el tiempo actual mas el
anterior");
Serial.println (TiempoMonitoreoMinutos);

lcd.clear ();
delay (100);
lcd.setCursor (0,0);
lcd.print ("CAUDAL MASÍCO =");
lcd.setCursor (0,1);
lcd.print (float (Caudal_MasícoFinal) ,1);
lcd.setCursor (9,1);
lcd.print ("m3");
delay (6000);

/* MEDICION DE LA TEMPERATURA DE LA MASA DE AIRE QUE CIRCULA
POR LA TOBERA CONVERGENTE-DIVERGENTE*/
/*Bloque de cálculo TERMISTOR NTC DEL MAF*/

/*Cálculo de la TEMPERATURA.*/

vout= (vcc/1024)*(analogRead (pin_SensorIAT));

```

```

/*Cálculo de la RESISTENCIA DEL NTC. */
rntc= (Rfija/((vcc-vout)-1));
/*Cálculo de la TEMPERATURA en Kelvin.*/
temperaturaK= beta/ (log (rntc/r25)+ (beta/temp25));
/*Paso de TEMPERATURA en Kelvin a Grados Celsius. */
TempGradC= temperaturaK - 273.0;
Serial.println ("Temperatura en grados centígrados");
Serial.println (TempGradC);

/* Observar en la pantalla del display la temperatura medida por el sensor de
temperatura IAT,
que se encuentra integrado al Dispositivo de medicion de volumen de aire: MAF.*/

lcd.clear (); /* Limpiamos la pantalla del LCD, nos aseguramos que no haya quedado
ninguna leyenda anterior */
delay (100); /* retraso de 100 ms */
lcd.setCursor (2,0); /* Primera línea del display */
lcd.print ("TEMPERATURA");
lcd.setCursor (0,1);
lcd.print ("AMBIENTE:");
lcd.setCursor (10,1);
lcd.print (float (TempGradC) ,1);
lcd.setCursor (14,1);
lcd.print ((char) 223); /* Símbolo ° */
lcd.setCursor (15,1);
lcd.print ("C");
delay (6000);

} // FIN FUNCION LOOP, MARCA FIN DE MONITOREO, CALCULO CAUDAL
Y TEMPERATURA AMBIENTE.

/*Función para convertir el valor en voltaje a un valor con decimales. */

float fmap (float x, float in_min, float in_max, float out_min, float out_max)
{
return (x-in_min)*(out_max - out_min)/ (in_max-in_min)+out_min;
}

/*Función del cálculo de caudal.*/

float CalculoCaudalVoltaje (float Valor_SensorMAF_Voltaje){
float Caudal;
Caudal =(( -0.0519 * pow(Valor_SensorMAF_Voltaje,4)) + (0.4368 *
pow(Valor_SensorMAF_Voltaje,3)) - (1.3452 * pow(Valor_SensorMAF_Voltaje,2))
+ (1.8582 * pow(Valor_SensorMAF_Voltaje,1)) + 0.6935);
return Caudal;
}

```


9.3. ANÁLISIS DE COSTOS DEL PROTOTIPO MEDIDOR DE LA CALIDAD DEL AIRE EN APLICACIONES AGROPECUARIAS

Análisis de Costos				
Componentes electrónicos	Cantidad	Precio por unidad	Total	
Placa de Arduino	1 unidad	\$ 360	\$ 360	
Batería de 9V	2 unidades	\$ 60	\$ 120	
Convertor DC-DC Boost	1 unidad	\$ 90	\$ 90	
Preset	1 unidad	\$ 50	\$ 50	
Accesorios	-		\$ 400	
Display LCD 16x2	1 unidad	\$ 150	\$ 150	
			Subtotal	\$ 1.170
Motor eléctrico Brushless	1 unidad	\$ 600	\$ 600	
Variador electrónico de velocidad	1 unidad	\$ 522	\$ 522	
Hélices	4 (pares)	\$149 (cada par)	\$ 596	
Batería LiPo	1 unidad	\$1179, 72	\$ 1.179,72	
Sensor MAF(Sensor IAT incluido)	1 unidad	\$ 2.337	\$ 2.337	
			Subtotal	\$ 5.243,22
Tubo de vidrio de borosilicato	1 tubo de 500 ml	\$ 490	\$ 490	
Carbón activo	1 pote de 250grs.	\$ 300	\$ 300	
Tela mosquitera	1 metro	\$ 90	\$ 90	
Tela (Tul y lycra)	1 metro		\$ 100	
			Subtotal	\$ 980
Impresión 3D			\$ 6.000	
Pegamento	2 unidades	\$ 80	\$ 160	
			Subtotal	\$ 6.160
			Total	\$ 13.553,22

