	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	F-AC-DBL-007	10-04-2012	A
Dependencia	Aprobado		Pág.	
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	SUBDIRECTOR ACADÉMICO		1 (89)	

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	ANDREA JULIANA ROPERO PICON DANIEL ANTONIO SANDOVAL JIMENEZ		
FACULTAD	CIENCIAS AGRARIAS Y DEL AMBIENTE		
PLAN DE ESTUDIOS	INGENIERÍA AMBIENTAL		
DIRECTOR	ALEXANDER ARMESTO ARENAS		
TÍTULO DE LA TESIS	DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN PROTOTIPO DE MUESTREO DE LA CALIDAD DEL AIRE DE PM 10 Y PM 2.5 PARA EL MUNICIPIO DE OCAÑA NORTE DE SANTANDER		
RESUMEN (70 palabras aproximadamente)			
<p>EL PRESENTE TRABAJO TRATA DEL DISEÑO DE UN PROTOTIPO CREADO CON UN SENSOR LASER EN EL CUAL MIDE LA CALIDAD DEL AIRE DE FORMA MAS SENCILLA, DONDE PERMITE EN TIEMPO REAL IDENTIFICAR EL COMPORTAMIENTO DE FACTORES AMBIENTALES COMO ES EL PM 2.5 PM 10 Y COMUNICAR LOS DATOS DE FORMA RAPIDA PARA QUE PUEDAN TENERSE EN CUENTA EN EL MOMENTO DE TOMAR DECISIONES FRENTE A LAS NECESIDADES PRESENTES EN EL MOMENTO.</p>			
CARACTERÍSTICAS			
PAGINAS: 89	PLANOS:	ILUSTRACIONES:	CD-ROM:



Via Acolsure, Sede el Algodonal, Ocaña, Colombia - Código postal: 546552
 Línea gratuita nacional: 01 8000 121 022 - PBX: (+57) (7) 569 00 88 - Fax: Ext. 104
 info@ufpso.edu.co - www.ufpso.edu.co

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE MUESTREO DE LA CALIDAD
DEL AIRE DE PM 10 Y PM 2.5 PARA EL MUNICIPIO DE OCAÑA NORTE DE
SANTANDER

AUTORES

ANDREA JULIANA ROPERO PICÓN

DANIEL ANTONIO SANDOVAL JIMÉNEZ

Trabajo de grado presentado como requisito para obtener el título de Ingeniero ambiental

Director

Ing. ALEXANDER ARMESTO ARENAS

Msc. en Gestión y Auditoría Ambiental.

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y DEL AMBIENTE

PLAN DE ESTUDIOS INGENIERIA AMBIENTAL

Ocaña, Colombia

Mayo de 2021

Dedicatoria

A Dios, por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida. Por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a valorarlo cada día más.

A mis padres Jesús Alberto Álvarez y Alid María Picón Bohórquez por su ejemplo, palabras de aliento y apoyo, a mi hija Sara Juliana por ser la motivación para seguir adelante, a mis hermanos en especial Rodrigo Roperero por ser mi asesor y compañero de este trabajo de grado y sin dejar atrás a todos mi familiares y amigos por confiar en mí y apoyándome a lograr que este sueño.

ANDREA JULIANA ROPERERO PICÓN

Dedicatoria

Este proyecto va dedicado:

A mis padres Daniel Humberto Sandoval Mora & Amanda Jiménez Fernández, que se esforzaron día a día para sacar adelante mi carrera, lo quiero mucho, a mis hermanos y por supuesto a mi persona demostrándome que si se pueden cumplir las metas.

DANIEL ANTONIO SANDOVAL JIMÉNEZ

Agradecimientos

Agradecemos a Dios por protegernos durante todo este camino y darnos las fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de estos años.

A nuestros padres por la confianza y el apoyo que nos brindaron en todo este trayecto de nuestra vida profesional demostrándonos amor, corrigiendo nuestras faltas y celebrando nuestros triunfos.

A nuestros hermanos por celebrar con nosotros cada triunfo de nuestra vida.

A nuestro director de tesis el Msc. Alexander Armesto arenas quien con sus conocimientos y apoyo me guio a través de cada una de las etapas de este proyecto para alcanzar los resultados que buscábamos.

Al ing. Electrónico Rodrigo ropero por toda la colaboración brindada, durante la elaboración de este proyecto.

Al docente Juan Carlos Rodríguez por sus observaciones, orientación y atención a mis consultas.

A la universidad por abrirnos sus puertas y permitirme la oportunidad de crecer en nuestros estudios profesionales, enriqueciéndome de nuevos saberes y darme la oportunidad de conocer excelentes personas que fueron mis compañeros y docentes durante todo el proceso universitario, y todas aquellas personas que hicieron parte de nuestro proceso y culminación de nuestra carrera profesional, Gracias!

ANDREA JULIANA ROPERO PICÓN

DANIEL ANTONIO SANDOVAL JIMÉNEZ

Índice

Capítulo 1. Diseño e implementación de un prototipo de muestreo de la calidad del aire de pm10 y pm2.5 para el municipio de Ocaña norte de Santander	1
1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Formulación del problema	2
1.3 Objetivos	3
1.4 Justificación	3
1.5 Delimitación.....	5
Capítulo 2. Marco referencial	7
2.1 Marco histórico	7
2.2 Marco contextual	13
2.3 Marco conceptual.....	13
2.4 Maco teórico	18
2.5 Marco Legal	20
Capítulo 3. Diseño metodológico	22
3.1 Tipo de investigación.....	22
3.2 Población y muestra.....	30
3.3 Diseño de instrumentos de recolección de la información y técnicas de análisis de datos	31
3.4 Análisis de información	31
Capítulo 4. Presentación de resultados	33
4.1 Diseño de un prototipo que permita el estudio de la calidad el aire de PM10 Y PM2.5 mediante el uso de sensores de serie HPMA de Honeywell.....	39
4.2 Comparación del prototipo mediante las diferentes estaciones de monitoreo que se encuentran en el municipio de Ocaña norte de Santander.....	43
4.3 Analisis de las concentraciones de material particulado de PM10 Y PM2.5 en los distintos puntos seleccionados del municipio.....	51
Capítulo 6. Conclusiones	51
Capítulo 7. Recomendaciones.....	53
Referencias.....	54
Apéndices.....	62

Lista de tablas

Tabla 1. <i>Fases de diseño e implementación del prototipo</i>	22
Tabla 2. <i>Requerimientos para un sistema de vigilancia de material particulado automático</i>	54
Tabla 3. <i>Estación de Bellas Artes</i>	55
Tabla 4. <i>Estación Barrio Santa Clara</i>	57
Tabla 5. <i>Resultados comparativos Bellas Artes</i>	59
Tabla 6. <i>Resultados comparativos Santa Clara</i>	60

Lista de figuras

<i>Figura 1.</i> Puntos geográficos de las zonas de estudio	5
<i>Figura 2.</i> Los diámetros de PM2.5 y PM10 comparados con un cabello humano.....	14
<i>Figura 3.</i> Configuración óptica del principio de dispersión laser.	15
<i>Figura 4.</i> Índice de calidad del aire y puntos de corte.....	15
<i>Figura 5.</i> Sensor de partículas de la serie Honeywell HPM.....	16
<i>Figura 6.</i> High Volume Air Samplers	16
<i>Figura 7.</i> Operación del sensor de partículas Honeywell HPM Series	24
<i>Figura 8.</i> Diagrama de un tipo de comunicación del puerto serie.....	26
<i>Figura 9.</i> Esquema de una interfaz I2C	27
<i>Figura 10.</i> Esquema de las transacciones en el bus I2C	27
<i>Figura 11.</i> Interfaz de comunicación SPI.....	28
<i>Figura 12.</i> Interfaz de comunicación UART.....	29
<i>Figura 13.</i> Trama de comunicación UART	29
<i>Figura 14.</i> Etapa de alimentación.....	35
<i>Figura 15.</i> Microcontrolador Atmega328PU de 8 Bits.	35
<i>Figura 16.</i> Pantalla LCD y led RGB.	36
<i>Figura 17.</i> Comunicación I2C Y MicroSD.	37
<i>Figura 18.</i> Protoboard.....	38
<i>Figura 19.</i> Tarjeta universal.	38
<i>Figura 20.</i> Caja impermeable.	39
<i>Figura 21.</i> Montaje del Prototipo.	39
<i>Figura 22.</i> Toma de muestra previo a realizarse	40
<i>Figura 23.</i> Durante el proceso de la toma.....	41
<i>Figura 24.</i> Después de la toma	41
<i>Figura 25.</i> Mapa de puntos de monitoreo.....	43
<i>Figura 26.</i> Mapa de Sitio de Bellas Artes.....	44
<i>Figura 27.</i> Ubicación del prototipo electrónico en Bellas Artes	44
<i>Figura 28.</i> Mapa de sitio Barrio Santa Clara.	45
<i>Figura 29.</i> Ubicación del prototipo electrónico en el barrio Santa Clara.....	46
<i>Figura 30.</i> Grafica de muestras del prototipo Bellas Artes	47
<i>Figura 31.</i> Grafica de muestras del prototipo Bellas Artes.	47
<i>Figura 32.</i> Grafica de muestras del prototipo Bellas Artes.	48
<i>Figura 34.</i> Grafica de muestras del prototipo Santa Clara.	49
<i>Figura 35.</i> Grafica de muestras del prototipo Santa Clara.	49

Lista de apéndices

Apéndice A. información específica del condensador cerámico.....	63
Apéndice B. información específica del condensador electrolítico.	64
Apéndice C. Información específica del cristal.....	65
Apéndice D. Información específica del diagrama Modulo MicroSD.....	66
Apéndice E. información específica del HPM115S0	67
Apéndice F. información específica del Microcontrollers.	69
Apéndice G. información específica del Pantalla LCD.....	71
Apéndice H. información específica del pulsador.....	72
Apéndice I. información específica del Reloj De Tiempo Real.....	73
Apéndice J. información específica del Trimmer.....	76

Introducción

El calentamiento del planeta, la contaminación en el aire y otros fenómenos están generando día a día más alteraciones ambientales de considerables efectos para la salud de las personas en general el equilibrio de la vida y los ecosistemas depende del cuidado que se esté efectuando para ello, siendo muy común que para hacer estudios de la contaminación se utilicen estaciones que miden la calidad del aire en espacio exteriores, en lugares de mayor paso vehicular, en fábricas de gran productividad, entre otros.

Sin embargo, en las actividades del sector terciario y los lugares de residencia u oficinas que son espacios cerrados donde la concentración de los contaminantes puede ser aún mayor que en el exterior, dichas mediciones normalmente no se están practicando (Castiblanco & Cañón, 2018)

En Colombia con los pasos de los años el control y monitoreo de la contaminación atmosférica ha venido tomando mayor importancia, debido a que, la organización mundial de la salud en sus publicaciones dice que según las cifras “una de cada ocho muertes ocurridas a nivel mundial, es causada por la contaminación del aire” (IDEAM, s.f.).

De tal manera que realizar mediciones de la concentración de este contaminante con los avances tecnológicos han sido pieza fundamental para determinar las contaminaciones que se presenta en el mundo Por lo tanto, “realizar mediciones de calidad del aire en ambientes exteriores e interiores es importante tomar correcciones, con el fin de prevenir enfermedades

asociadas a la mala calidad del aire” (Castiblanco & Cañon, 2018). “Los problemas asociados a este tipo de contaminación ocurren en los países en vía de desarrollo y en hogares que no cuentan con la capacidad económica para adquirir aparatos que les ofrezcan una ventilación adecuada a los hogares” (Castiblanco & Cañon, 2018)

Por este motivo, se nos da la idea de diseñar e implementar un prototipo tecnológico de bajo costo que transmite en tiempo real las mediciones efectuadas hacia un sistema remoto para ser comparados con lo establecido en la Resolución 2254 del 2017, en donde se funda en el artículo 10 los niveles de prevención, alerta y emergencia por la contaminación del aire a diferentes tiempos de exposición.

Capítulo 1. Diseño e implementación de un prototipo de muestreo de la calidad del aire de pm10 y pm2.5 para el municipio de Ocaña norte de Santander

1.1 Planteamiento del problema

La mala calidad del aire en el mundo ha generado deterioro en la salud de las personas dado que diariamente se emite grandes concentraciones de contaminación atmosférica en el aire la cual genera problemas respiratorios graves entre otras enfermedades.

Siguiendo con la idea se debe decir que la mayoría de los estudios y mediciones que se realizan se concentran en la contaminación del aire en ambientes exteriores, dejando a un lado la contaminación que se generan en ambientes interiores tales como oficinas, aulas de clase, empresas, fábricas, talleres y viviendas, en donde normalmente las personas permanece la mayoría de tiempo realizando actividades cotidianas en el cual se puede estar expuesto a respirar un aire contaminado, “ya que en el aire coexisten diferentes partículas y agentes como humo de tabaco, humo de vehículos o de las diferentes industrias, bacterias y virus produciendo contaminación ambiental que puede generar efectos dañinos en la salud de las personas” (Castiblanco & Cristian, 2019).

Podemos decir que “los ambientes interiores de mala calidad del aire pueden generar diferentes problemas en la salud humana que puede ir desde fatiga o molestia a enfermedades a nuestros sistemas respiratorios, alergias o infecciones” (Castiblanco & Cristian, 2019).

En Ocaña, Norte de Santander se cuenta con estaciones de monitoreo de gran tamaño que miden la concentración de dicha contaminación en ciertos puntos determinados donde el contaminante es más expuesto, pero no cuentan con medidores que nos determine la contaminación en el aire en interiores como en exteriores en todo el municipio de Ocaña es por ello que se plantea la necesidad de realizar un prototipo de diseño de muestreado con sensores para que sea de fácil acceso.

Con el fin de concientizar a la población de los riesgos que causa la inhalación de partículas en el aire para nuestra salud para esta investigación se propone a estudiar tres puntos específicos para validar los datos generados por el prototipo, estos puntos son la UFPSO, la Escuela de Bellas Artes Jorge Pacheco Quintero y sede UFPSO Avenida Francisco Fernández de Contreras.

1.2 Formulación del problema

De acuerdo con el escenario anterior es necesario generar un muestreado que permita de forma ágil y precisa la toma de resultados sobre la contaminación del aire; también que, al implementar este modelo a alguna entidad del municipio de Ocaña Norte de Santander, Tome conciencia de la amenaza que causa la polución de PM_{10} Y $PM_{2.5}$ y económicamente sea factible.

Con base en lo anterior se genera la siguiente pregunta: ¿Que diseño de muestreado automático de PM_{10} Y $PM_{2.5}$ se puede implementar para el análisis de la contaminación atmosférica?

1.3 Objetivos

1.3.1 General. Diseñar e implementar un prototipo de muestreo que permita Realizar el seguimiento de la calidad del aire de PM_{2.5} y PM₁₀ a través del uso de sensores en el Municipio de Ocaña Norte de Santander.

1.3.2 Específicos. Diseñar un prototipo que permita el estudio de la calidad el aire de PM₁₀ Y PM_{2.5} mediante el uso de sensores de serie HPMA de Honeywell.

Comparar el prototipo mediante las diferentes estaciones de monitoreo que se encuentran en el municipio de Ocaña norte de Santander.

Analizar las concentraciones de material particulado de PM₁₀ Y PM_{2.5} en los distintos puntos seleccionados del municipio.

1.4 Justificación

La Organización Mundial de la Salud indica que al menos nueve de cada diez habitantes del planeta respiran aire contaminado.

Dicha contaminación, se debe a agentes contaminantes tales como partículas, ozono, dióxido de nitrógeno o metales pesados que proceden particularmente de las industrias, la calefacción y los medios de transporte; los cuales, generan efectos múltiples en la salud que

comprenden trastornos respiratorios, cáncer de pulmón y accidentes vasculares cerebrales (OMS, 2018)

La exposición continua o prolongada a este tipo de partículas provoca efectos nocivos en la salud humana más exactamente en el sistema respiratorio, ya que las partículas por su tamaño atraviesan los alvéolos pulmonares y alojándose en los pulmones, para poder combatir y solucionar los diferentes problemas ambientales que ha causado el hombre, es fundamental y necesario despertar la conciencia en las diferentes comunidades ante la realidad ambiental que cada día se encuentra en peores condiciones.

Teniendo en cuenta esto hoy en día el municipio de Ocaña cuenta con estaciones de monitoreo de calidad de aire que se encuentran localizadas dentro de las instalaciones de la Escuela de Bellas artes, Sede UFPSO Avenida Francisco Fernández de Contreras, Barrio santa Clara, la cooperativa Crediservir, la cual se realizaran monitorios continuos de paramentos meteorológicos y de calidad del aire, entre ellos la medición en tiempo real de la concentración de material particulado.

A pesar de esto la información solo esta da para las entidades que manejan las estaciones y no es de fácil acceso para empresas, estudiantes o personal particular que deseen hacer investigación o conocer la contaminación en el aire en otros lugares ya que estas estaciones son demasiado grandes y fijas, de acuerdo a lo anterior, se ve la necesidad de diseñar un prototipo a través de la innovación tecnológica teniendo en cuenta los tres componentes ambientales, económico, ecológico y social; el prototipo estará diseñado para que genere datos a tiempo real

de la concentración de los contaminantes atmosféricos, que la información sea efectiva y clara de entender, y lo más importante es que sea de fácil acceso.

1.5 Delimitación

1.5.1 Geográfica. Esta investigación se realizó dentro de los siguientes 2 puntos seleccionados en la Ciudad de Ocaña, Norte de Santander: Escuela de Bellas Artes:

$8^{\circ}14'13.60''N - 73^{\circ}21'12.71''O$ y Crediservir Barrio santa Clara: $8^{\circ}16'2.41''N 73^{\circ}21'51.13''O$.

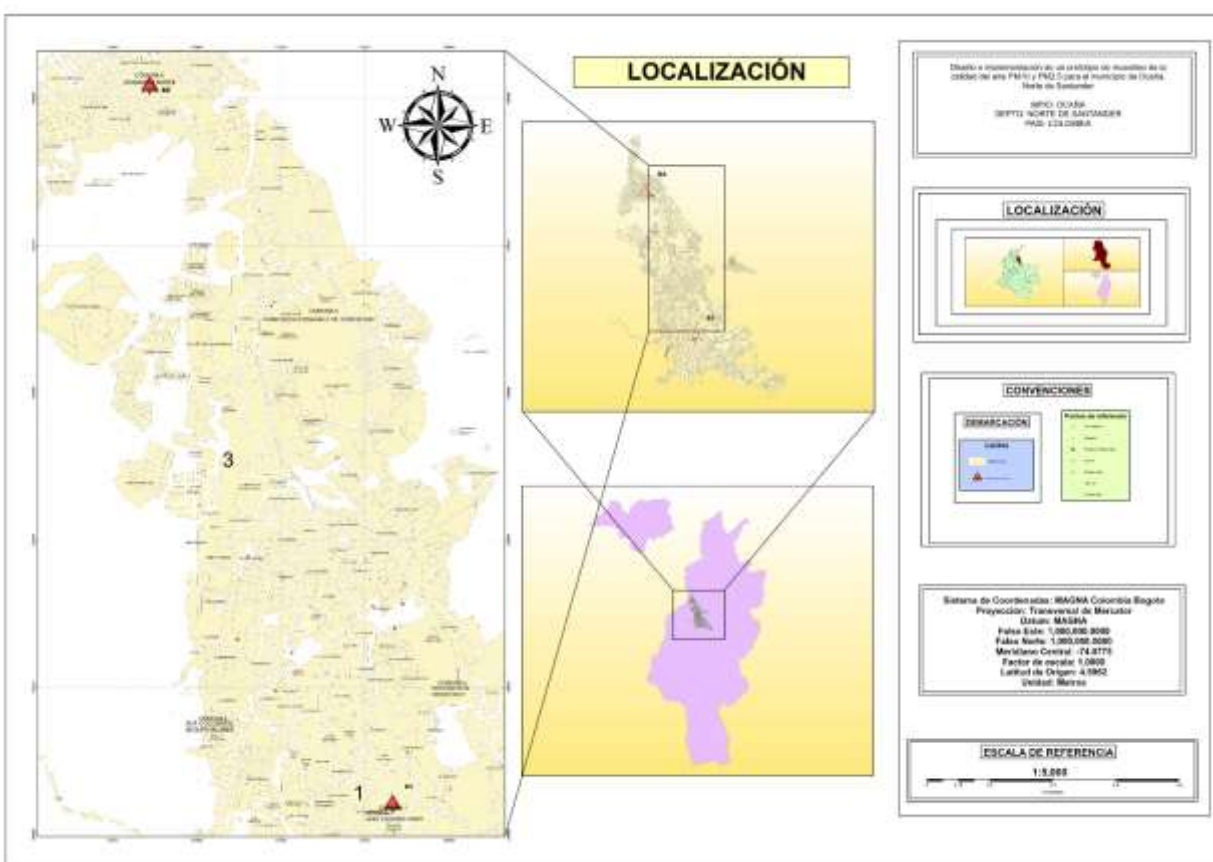


Figura 1. Puntos geográficos de las zonas de estudio. Fuente. Autores del trabajo

1.5.2 Temporal. La realización del estudio tuvo una duración de 14 semanas a partir de la presentación del anteproyecto por parte del Comité Curricular del Programa de ingeniería ambiental

1.5.3 Conceptual. El desarrollo del presente proyecto tuvo como fundamentos los siguientes términos:

Ambientes exteriores, Ambientes interiores, área-fuente, Calidad del aire, Contaminación atmosférica, Control, Dispositivo tecnológico, Dispersión laser, Efectos nocivos, Emisión, Índice de calidad del aire, Inmisión, Instituciones, Estaciones de Monitoreo, Muestreo, Partículas en suspensión, Pm10, Pm2.5, Prototipo, Sensores, y Tiempo real.

1.5.4 Operativa. Este proyecto de investigación estuvo determinado por una Metodología de investigación aplicada de enfoque mixto, para la recolección de la información es indispensable las instalaciones de la UFPSO sede principal, bellas artes y Crediservir en el barrio santa clara quienes son las entidades que se le aplicara la investigación, también se es necesario el prototipo de muestreo diseñado por el ingeniero electrónico Rodrigo Roperó Picón, dado que este nos dará el acopio de la información.

Capítulo 2. Marco referencial

2.1 Marco histórico

2.1.1 Antecedentes de la contaminación del aire a nivel internacional. La contaminación del aire causa graves problemas para la salud humana y el medio ambiente, para lo cual se han promulgado varias leyes y regulaciones con el objetivo de proteger la salud humana, de igual forma, tiene como propósito obligar a purificar las emisiones contaminantes para minimizar su impacto, siendo una forma de proteger la salud de los residentes es mediante el monitoreo y la difusión continua de la calidad del aire.

De otra parte, en la ciudad de México, el Sistema de Monitoreo Atmosférico (SIMAT) es el responsable de la medición permanente de los principales contaminantes del aire, y los resultados obtenidos son difundidos por el gobierno de la ciudad de México el cual se encarga de poner a disposición de los habitantes el índice de calidad a través de su página “www.aire.df.gob.mx” o a través de su app llamada Aire (Sedema, 2018).

Lo anterior con el fin de que los habitantes puedan estar al tanto de la calidad del aire, y así las personas puedan saber si es propicio llevar a cabo actividades en exteriores y también puedan implementar medidas para respirar un aire más puro en interiores, y a su vez prevenir enfermedades (Sedema, 2018).

A través del análisis e investigaciones del país chileno, se obtuvo que la concentración de contaminación del aire en otoño e invierno es mayor, provocado esta contaminación, principalmente por fuentes antrópicas (Ledezma, 2019).

De otra parte, se explican que diversos estudios han demostrado que la contaminación del aire ha aumentado debido al uso masivo de madera para calentar combustible en estaciones, lo peor es que a estas actividades no se les realizan muestreos con frecuencia, lo que es un gran problema para la salud humana, ya que al no tener un registro de la contaminación generada, no se pueden aplicar las soluciones correspondientes para mitigar los contaminantes arrojados al ambiente (Ledezma, 2019).

Por otra parte, uno de los mayores promotores a la degradación del medio ambiente es el proceso de urbanización, trayendo consigo transformaciones en el deterioro de la calidad del aire en ciudades; entre los contaminantes más importante es el material particulado de PM10 y PM2.5 siendo estos invisibles para la vista de las personas, teniendo la capacidad de ingresar a los pulmones y afectado considerablemente la salud humana (Ministerio del medio ambiente, 2019).

Mediante estudios realizados por Martin (2005) respaldado por el Ministerio del Medio Ambiente en la ciudad de buenos aires, se desarrolló un modelo de “dispersión-deposito DAUMOD-D, para estimar la concentración de material particulado” debido que es muy complicado poder hacer estudios en las estaciones meteorológicas de la cuidad (Ministerio del medio ambiente, 2019).

En Quito, Ecuador los datos de monitoreo de la calidad del aire en los últimos años indicaron que el material particulado es uno de los contaminantes con mayor presencia, llegando a límites máximos permitidos. El Distrito Metropolitano de Quito cuenta con diferentes estaciones para la medición del material particulado, la cuales están bien establecidas, pero son de difícil acceso (Díaz, 2019).

En la investigación de (Díaz, 2019), utilizaron rayos betas y muestreadores de polvo sedimentable de fabricación casera, los resultados obtenidos permitieron conocer el grave efecto que causan a la salud las canteras que aún se explotan en el sector del norte de Quito, y se comprobó la cantidad de material particulado provocado por los sulfatos de los combustibles que se utilizan en la ciudad.

2.1.2 Antecedentes de la contaminación del aire a nivel a nivel nacional. En Colombia, el monitoreo y control de la contaminación del aire es cada vez más importante, porque según la Organización Mundial de la Salud, una de cada ocho muertes en el mundo es causada por la contaminación del aire. A nivel nacional, el Ministerio de Planificación Nacional estima que, en 2015, el impacto de este fenómeno estuvo relacionado con 10.527 muertes y 67,8 millones de síntomas y enfermedades (Ideam, 2014).

Además, los costos ambientales asociados con la contaminación del aire de Colombia han aumentado de 1.1% del PIB (5.7 mil millones de pesos) en 2009 a 1.59% (12 mil millones de pesos) del PIB en 2014. Pesos) y 1,93% del PIB de 2015 (15,4 mil millones de pesos),

destacando la necesidad de seguir implementando estrategias de control, evaluación y seguimiento de estas sustancias (Ideam, 2014).

Siguiendo con la idea se debe decir que la contaminación del aire es un problema que afrontan muchas ciudades en el país, siendo esto característico de las aglomeraciones de sustancias presente en la atmosfera, por lo que los datos científicos muestran cómo éste produce afecta la salud de los habitantes.

Según, Gaviria (2011), en la zona metropolitana de Medellín, “se registra un alto nivel de contaminación del aire por material particulado, causndo enfermedades respiratorias”; En la actualidad, en la ciudad se mide de forma continua la contaminación. El medio y el tamaño de dicho material se monitorean como sólidos suspendidos totales. El pm10 y el pm2.5. La calidad del aire se mide recientemente en Medellín mediante seis estaciones manuales y tres medidores automáticos.

De otra parte, el último informe sobre el estado de la calidad del aire elaborado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, el contaminante que mayor impacto tiene en el territorio nacional es el material particulado menor a 2.5 micras (PM2.5), compuesto por partículas muy pequeñas, principalmente producidas por vehículos pesados que utilizan Diesel como combustible, producen y transportan sustancias muy dañinas para el cuerpo humano, como metales pesados, compuestos orgánicos y virus, que afectan el tracto respiratorio (Ideam, 2014).

Por último, se debe decir que el Instituto Nacional de Salud en el informa presentado en el año 2019, afirma que nueve de cada diez personas en el mundo respiran aire contaminado, casi siete millones mueren cada año a causa de esto, de igual forma el Observatorio Nacional de Salud (ONS), dice que la mala calidad del aire y del agua causan al menos 17.500 muertes en Colombia anualmente. En otras palabras, de las 223.000 muertes registradas en el 2016, el 8 por ciento se atribuyen a factores de riesgo ambiental que podrían ser prevenibles, relacionadas con el material particulado que generan la combustión vehicular o los residuos industriales (Instituto Nacional de Salud, 2019).

2.1.3 Antecedentes de la contaminación del aire a nivel regional. La Corporación de la región CORPONOR tiene instalados en la ciudad de Cúcuta, un Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire el cual es de tipo tres (III), conformado por tres (3) estaciones fijas que contiene un equipo de muestreado manual de alto volumen (Hi-Vol) para medir concentraciones de material particulado menores a $10\mu\text{m}$ (PM10) (Corponor, 2020).

Las anteriores estaciones no tuvieron un funcionamiento óptimo ya que las mismas operan de forma manual dos veces por semana y además los datos se generaban cada dos días, lo cual ocasionó la necesidad de acciones de contingencia, siendo estas aplicadas un poco tarde por lo que no se pudo evitar la afectación de algunas personas.

2.1.4 Antecedentes de la contaminación del aire a nivel local. En el municipio se han realizado investigaciones por el ingeniero ambiental Alexander Armesto Arenas que, con ayuda de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, ha realizado mediciones periódicas de

material particulado, las cuales permiten que haya un registro de la contaminación significativa del aire por emisión.

Las anteriores mediciones se han realizado en 3 estaciones de monitoreo, las cuales presentan un sistema de vigilancia de calidad de aire manual, Tipo Indicativo, constituidos totalmente por equipos manuales (Hi vol - PM10); y las cuales se encuentran ubicadas en la Escuela de Bellas Artes sede UFPS Ocaña; en la Avenida Francisco Fernández de Contreras, Sede UFPS Ocaña, y en el Barrio Santa clara (Armesto, 2015).

De otra parte, el trabajo de grado realizado por estudiantes de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña titulado “Evaluación de la contaminación atmosférica respecto al material particulado menor a $10\mu\text{m}$, en el casco urbano del municipio de Ocaña, Norte de Santander”, se obtuvo como conclusión que la Calidad del Aire del año 2015 fue buena, teniendo en cuenta que en algunos días presentaron valores de Índice de Calidad del Aire Moderados, para cada una de las estaciones de monitoreo (Armesto, 2015).

Del mismo modo, el Índice de Calidad del Aire diario durante el periodo diciembre 2014-diciembre 2015 mostro una tendencia decreciente en las tres estaciones de monitoreo del casco urbano de Ocaña. Según las recomendaciones de la Agencia de Protección Ambiental (EPA), las recomendaciones de salud para estos niveles de contaminación son consistentes con el hecho de que toda la población puede realizar actividades diarias al aire libre sin restricciones (Armesto, 2015).

2.2 Marco contextual

El municipio de Ocaña se encuentra ubicado al nororiente del país y hace parte de uno de los 40 municipios que conforman el departamento de Norte de Santander, específicamente, localizado en la subregión occidental de este departamento, de la cual también hacen parte los municipios de Convención, El Carmen, Hacarí, San Calixto, Teorama, La Playa, Cáchira, La Esperanza y Ábrego (Serrano, 2020).

Su población de acuerdo a las proyecciones de 2018-2020 del Departamento Administrativos Nacional de Estadística (DANE), para el año 2019, la cantidad de habitantes del Municipio corresponde a 124. 603, residiendo en su mayoría en suelo urbano con un total de 111.872 habitantes (Defensoría del pueblo, 2020).

Esta contaminación ambiental no es ajena a la situación que vive al departamento de Norte de Santander ya que, sumado a las mencionadas anteriormente, se encuentra la contaminación que se registra en el departamento a causa de atentados al oleoducto Caño Limón – Coveñas y la minería ilegal, las cuales generan una afectación mayor a los recursos naturales, y con ello, una disminución de la calidad de vida de las personas (El tiempo, 2020).

2.3 Marco conceptual

2.3.1 Aire. Es el fluido que forma la atmósfera de la Tierra, constituido por una mezcla gaseosa cuya composición es, cuando menos, de veinte por ciento (20%) de oxígeno, setenta y

siete por ciento (77%) de nitrógeno y proporciones variables de gases inertes y vapor de agua, en relación volumétrica (Ministerio del Medio Ambiente, 2020).

2.3.2 Contaminación atmosférica. Es la presencia de contaminantes causados por Efectos adversos en el medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud de las personas que se emiten al aire como resultado de actividades humanas, de causas naturales, o de una combinación de estas (Ministerio del medio ambiente, 2019).

2.3.3 Relación entre partículas de Pm10 y Pm2.5. El material particulado Atmosférico PM 2.5 se refiere a partículas con un diámetro de menos de 2,5 μm (micrómetros), que es aproximadamente el 3% del diámetro de un cabello humano, estas partículas son tan pequeñas que sólo se detectan con un microscopio. Y las partículas PM10 son más grandes (10 μm o menos) (Murcia salud, 2019).

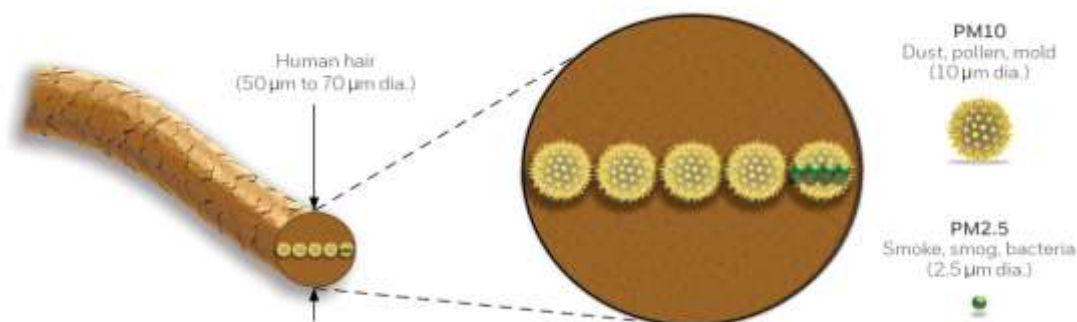


Figura 2. Los diámetros de PM2.5 y PM10 comparados con un cabello humano.
Fuente: <https://sensing.honeywell.com/honeywell-sensing-particulate-hpm-series-sell-sheet-007608.pdf>

2.3.4 Dispersión láser. Una fuente de luz láser ilumina las partículas cuando Atraviesan la cámara de detección. A medida que estas partículas pasan a través del rayo láser, las variaciones de la intensidad de la luz son registradas por un fotodetector. Esas variaciones pueden

ser analizadas y procesadas más a fondo para determinar el número y el tamaño de las partículas (Malvernpanalytical, 2020).

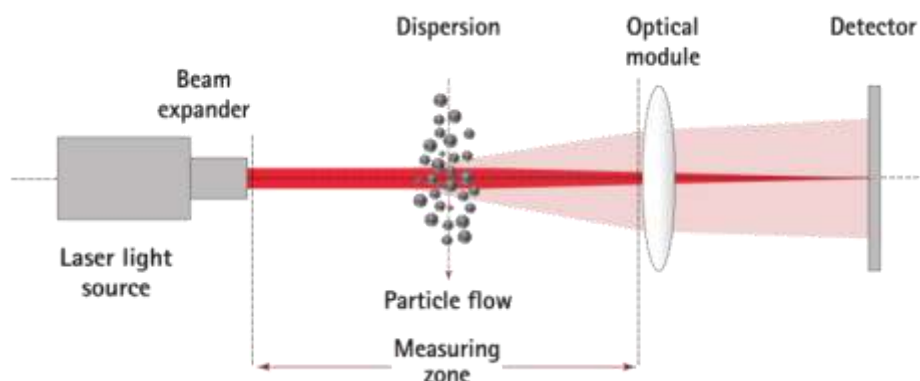


Figura 3. Configuración óptica del principio de dispersión láser. Fuente: <https://www.sympatec.com/en/particle-measurement/sensors/laser-diffraction/>

2.3.5 Índice de la calidad del aire. La Resolución 2254 del 2017 en el artículo 18, dice que el Instituto Colombiano Agropecuario es un valor adimensional para reportar el estado de la calidad del aire en función de un código de colores donde se evaluar el estado de la calidad del aire teniendo en cuenta los puntos de corte (Ministerio del Medio Ambiente, 2019)

Índice de Calidad del Aire			Puntos de corte del ICA						
ICA	Color	Categoría	PM ₁₀ µg/m ³ 24 horas	PM _{2.5} µg/m ³ 24 horas	CO µg/m ³ 8 horas	SO ₂ µg/m ³ 1 hora	NO ₂ µg/m ³ 1 hora	O ₃ µg/m ³ 8 horas	O ₃ µg/m ³ 1 hora ⁽¹⁾
0-50	Verde	Buena	0 – 54	0 – 12	0 – 5094	0 – 93	0 – 100	0 – 106
51-100	Amarillo	Aceptable	55 – 154	13 – 37	5095 – 10819	94 – 197	101 – 189	107 – 138
101 - 150	Naranja	Dañina a la salud de Grupos Sensibles	155 – 254	38 – 55	10820 – 14254	198 - 486	190 – 677	139 - 167	245 – 323
151 - 200	Rojo	Dañina a la salud	255 – 354	56 – 150	14255 – 17688	487 – 797	678 - 1221	168 - 207	324 – 401
201 - 300	Púrpura	Muy dañina a la salud	355 – 424	151 – 250	17689 – 34862	798 – 1583	1222 – 2349	208 - 393	402 – 794
301 - 500	Marrón	Peligrosa	425 - 604	251 – 500	34863 - 57703	1584 - 2629	2350 - 3853	394 ⁽²⁾	795 – 1185

Figura 4. Índice de calidad del aire y puntos de corte. Fuente: <https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/96-res%202254%20de%202017.pdf>

2.3.6 Sensor y estaciones de monitoreo. Los sensores son una forma más fácil y Económica y hacer mediciones de calidad de aire a tiempo real y más económicas en cambio las estaciones de monitoreo son estaciones fijas de gran tamaño que sus resultados se dan después de tres días debido a que toca hacer el análisis manual para sus resultados (Ideam, 2018)



Figura 5. Sensor de partículas de la serie Honeywell HPM. Fuente: <https://sensing.honeywell.com/honeywell-sensing-particulate-hpm-series-datasheet-32322550.pdf>

2.3.7 El Muestreador de Altos Volúmenes. (High Volume Sampler, HVS) es Diseñado para recolectar material particulado ambiental con un diámetro aerodinámico de $10\ \mu\text{m}$ o menos, asegurando que solo se depositen concentraciones de PM10 en el filtro, durante un período de muestreo de 24 horas, son estaciones fijas de calibración (Arciniegas, 2011)



Figura 6. High Volume Air Samplers. Fuente: <https://tisch-env.com/high-volume-air-sampler/pm10>

2.3.8 Problemas derivados por la exposición a PM10 y PM2.5. El cuerpo humano en su mecanismo de defensa tienen la capacidad de eliminar las partículas inhaladas con diámetros superiores a 10 μm , sin embargo, las partículas con menor diámetro (conocidas como inhalables) puede ingresar y quedarse en el sistema respiratorio humano.

2.3.9 Prototipo. Es un primer modelo que sirve como representación o ejemplo del que puede ser el producto final y que nos permite verificar el diseño y confirmar que contenga las características específicas planteadas (Ingeniería, s.f.)

2.3.10 Tipos de sistemas de vigilancia de calidad del aire según su tecnología. De acuerdo con el tipo de instrumentos que utilizan para su operación los SVCA podrán ser:

SVCA Manuales: SVCA constituidos totalmente por equipos manuales (muestreadores y semiautomáticos).

SVCA Automáticos: SVCA constituidos totalmente por equipos y sistemas automáticos (analizadores automáticos).

SVCA Híbridos: SVCA constituidos por la combinación entre equipos manuales y automáticos (Republica de Colombia, 2020).

2.3.11 Fuente fija. Es la fuente de emisión situada en un lugar determinado e inamovible, aun cuando la descarga de contaminantes se produzca en forma dispersa (Autoridad Nacional de Licencias Ambientales, 2019).

2.3.12 Fuente fija dispersa o difusa. Es aquella en que los focos de emisión de una fuente fija se dispersan en un área, por razón del desplazamiento de la acción causante de la emisión, como en el caso de las quemas abiertas controladas en zonas rurales (Autoridad Nacional de Licencias Ambientales, 2019).

2.3.13 Fuente fija puntual. Es la fuente fija que emite contaminantes al aire por ductos o chimeneas (Autoridad Nacional de Licencias Ambientales, 2019)

2.3.14 Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión. Es el nivel de concentración legalmente permisible de sustancias o fenómenos contaminantes presentes en el aire, establecido por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, con el fin de preservar la buena calidad del medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana (Autoridad Nacional de Licencias Ambientales, 2019).

2.4 Maco teórico

El material particulado es uno de los contaminantes atmosféricos más estudiados en el mundo, este proviene de una variedad de fuentes naturales o artificiales, y tiene una un amplio rango de propiedades morfológicas, físicas, químicas y termodinámicas (Alvarez, 2017).

La presencia de tales contaminantes en la atmósfera tendrá una variedad de efectos sobre la vegetación, los materiales y las personas, incluida la disminución de la visión atmosférica debido a la absorción y dispersión de la luz (Alvarez, 2017).

Además de medir la concentración del contaminante, también es necesario evaluar su comportamiento en el espacio y el tiempo y correlacionarlo con fenómenos meteorológicos, composición química y fuentes, para que las estrategias de control puedan ser guiadas y monitoreadas por las autoridades ambientales (Alvarez, 2017).

El objetivo del diseño de estos equipos es evaluar el impacto de estas tecnologías en las emisiones de material particulado y de algunos gases de combustión, en condiciones reales, funcionando estos equipos en laboratorios, para mejorar o reducir las emisiones en los sitios a analizar (Galindo, 2016).

De otra parte, la investigación realizada por Yepes y Acero en el año 2018, muestra la eficiencia del prototipo de medición de emisiones de gas carbónico en un vehículo aéreo no tripulado (UAV) para los alrededores de rellenos sanitarios, teniendo como enfoque la implementación de un dispositivo que permita la medición de emisiones de monóxido de carbono y gas metano en un vehículo aéreo no tripulado, el propósito del dispositivo es evidenciar los niveles de contaminación y el riesgo al que se enfrentan las personas que a diario recolectan residuos (Yepes & Acero, 2019).

Continuando con la construcción del marco teórico se debe decir que el estudiante (Arrieta, 2019), diseñó un prototipo que tiene como función suministrar datos usando un Drone, con el objetivo de medir los gases contaminantes que generan las industrias en el medio ambiente, con los que se concluyó que los gases son CO₂, gas propano, butano, humedad,

temperatura y humo siendo las variables más frecuentes en dicho dispositivo y que mapea según su concentración.

2.5 Marco Legal

Constitución política de Colombia. Capítulo III. De los Derechos Colectivos y del medio Ambiente, teniendo en cuenta los siguientes artículos. Artículo 79. “Todas las personas tienen Derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines” (Congreso de Colombia, 2019).

Ley 23 de 1973. En esta Ley se conceden las facultades al Presidente para expedir el Código de Recursos Naturales y que tiene como finalidad la conservación de los recursos naturales renovables y el control y la prevención de la contaminación del ambiente en pro del mejoramiento de la calidad de vida de la población (Ley 23, 1973), y el Decreto Ley 2811 de 1974, el cual en su artículo 8, denomina como factor de deterioro del ambiente a la contaminación del aire, y en su artículo 9, establece los principios para el uso de los recursos naturales y elementos ambientales que son base para la posterior normatividad que rige con base en la calidad del aire (República de Colombia, 2019).

De otra parte, siguiendo con la normativa, es importante mencionar que, para el presente trabajo de investigación, se tiene también como base el Decreto 2107 de 1995 y el Decreto 1697 de 1997, referente a la reglamentación para la protección y control de la calidad del aire.

Decreto 1076 de 2015 donde se da la facultad al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible para poner en marcha la norma de calidad del aire y los niveles de inmisión, así como los mecanismos de control y prevención de la contaminación de la atmósfera y finalmente la Resolución 2254 de 2017 donde se adopta dicha norma de calidad del aire, basados en esta resolución se tienen en cuenta los colores para la facilitar el rango de concentración permisible (República de Colombia, 2019).

Resolución 910 de 2008 y la Resolución 0653 de 2006. Para el caso de las fuentes móviles, donde se establecen niveles permisibles para fuentes de movilidad terrestre (Resolución 910, 2008), y se define el procedimiento de la revisión certificada de gases (Resolución 0653, 2006).

Para un mayor control del monitoreo y seguimiento de calidad del aire el Ideam conforma dos manuales de sistema de vigilancia uno de Diseño y el otro de Operación dándonos estos todos los lineamientos para la construcción, operaciones y seguimiento de estaciones metodológicas, el análisis de información entre otras (Ideam, 2014)

Capítulo 3. Diseño metodológico

3.1 Tipo de investigación

Esta investigación se base en un desarrollo metodológico aplicado, con enfoque mixto, de alcance exploratorio descriptivo y diseño experimental, se busca recolectan y analizan datos cuantitativos y cualitativos logrando una mayor objetividad a la pregunta de investigación previamente estructurada, plasmando las evidencias de datos numéricos, textuales y visuales. (Sampieri, 2014)

El desarrollar del enfoque metodológico se basó en el método mixto que consiste en llegar aprobar la efectividad del prototipo de muestreo de Pm 10 y Pm 2.5 fundamentado en las normativas vigentes y en la comparación de los parámetros de las estaciones de monitoreo instaladas en el municipio de Ocaña, permitiendo tener una mejor validación del prototipo diseñado.

Tabla 1
Fases de diseño e implementación del prototipo

Fase	Proceso	Actividades
Fase I	Diseño e implementación de la estructura física y electrónica del prototipo	Investigar y recopilar información de los diferentes sensores de material particulado.
		Seleccionar el Sensor para el material particulado.
		Selección de materiales para la construcción del prototipo
		Construcción del prototipo

Tabla 1. (Continuación)

		Investigar y recopilar información sobre los métodos de muestreo de material particulado.
Fase II	Comparación del prototipo con las demás estaciones de monitoreo del municipio de Ocaña	Investigar los requerimientos para un sistema de vigilancia automático de material particulado Seleccionar el punto de instalación adecuado.
		Prueba conjunta tanto del prototipo como de las estaciones de monitoreo.
Fase III	Mediciones y pruebas	Recolectar la información que el prototipo genere para poder hacer un análisis. Realizar las validaciones para evaluar la recolección y visualización de los datos.

Nota: La tabla muestra los procesos y actividades que se van a implementar para el diseño del prototipo de calidad del aire. Fuente: Autores (2021)

Para proceder con el desarrollo del proyecto se implementó una metodología que se llevó a cabo las siguientes Fases:

Fase I. Diseñar un prototipo que permita el estudio de la calidad el aire de PM10 Y PM2.5 mediante el uso de sensores de serie HPMA de Honeywell

Para dar inicio al primer objetivo propuesto, se realizó una búsqueda bibliográfica de los diferentes métodos de muestreo de material particulado que son utilizados en la actualidad, teniendo en cuenta esto se procedió a identificar los sensores con mayor precisión, vida útil, precio asequible, calibración, porcentaje de error, certificación, entre otras características.

Luego, se identificaron los dispositivos necesarios para realizar la lectura e interpretación de los datos tomados por el sensor lo que facilita su visualización y posterior interpretación ya que estos tienen la función de almacenar dichos datos y mostrar los valores promedio en un intervalo de tiempo previamente configurado. Por último, se hace la selección respectiva de los materiales adicionales para la construcción del prototipo.

Selección del sensor. Existen muchos sensores que utilizan esta tecnología, en la cual se encuentra el Honeywell HPM A115S0-XXX, La Serie HPM utiliza un diseño de detección basado en láser que aumenta la precisión; es capaz de detectar las densidades de partículas con una precisión de $\pm 15\%$ (Arrow, s.f.). Con una vida útil esperada de 20.000 horas, el HPM funcionará durante siete años si se utiliza durante ocho horas al día. También tiene un tiempo de respuesta más rápido, ya que la Serie HPM analiza los medios en menos de seis segundos.

Esta velocidad permite que el sensor de partículas de Honeywell analice y proporcione datos al equipo de apoyo, permitiendo que el dispositivo responda a las condiciones cambiantes en tiempo real (Arrow, s.f.)

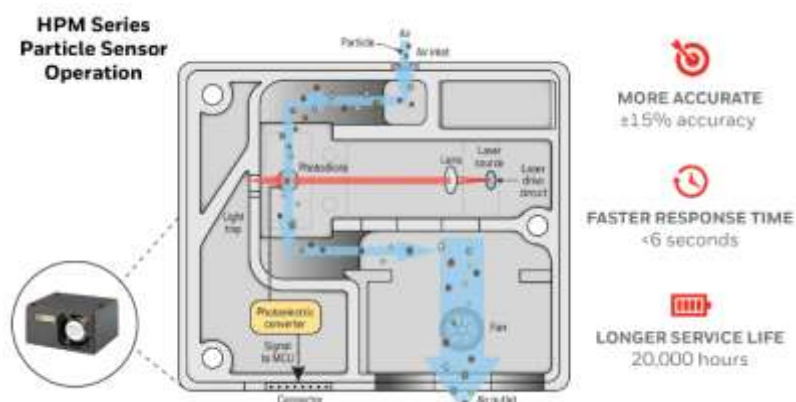


Figura 7. Operación del sensor de partículas Honeywell HPM Series.

Fuente: <https://www.arrow.com/en/research-and-events/articles/honeywell-hpm-particle-sensor>

La Serie HPM realiza cuatro pasos clave:

1. El ventilador en la salida atrae el aire y este entra
2. La muestra de aire pasa a través del rayo láser donde la luz reflejada de las partículas es capturada y analizada.
3. El convertidor fotoeléctrico procesa la señal en tamaño y densidad de las partículas.
4. La señal se transmite a la unidad de microcontrol (MCU) donde un algoritmo patentado procesa los datos y suministra salidas para la densidad de las partículas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

El rendimiento EMC probado de la Serie HPM y la fiabilidad mejorada significan que los sensores pueden funcionar con mayor precisión en una variedad de condiciones ambientales difíciles (Arrow, s.f.)

Comunicación de dispositivos. En el diseño de este prototipo se es necesario la comunicación entre otros dispositivos.

Para efectuar la comunicación se ha utilizado un microprocesador, en concreto, el atmega328pu, el cual se comunica con el exterior, tanto los datos del microprocesador a un led y una pantalla LCD, y de un sensor, un módulo RTC y un módulo micro USB al micro controlador, y viceversa. Se deben por lo tanto estudiar los tipos de comunicación entre dispositivos.

Puerto Serie. Por medio de la conexión de serie es posible la transmisión de datos digitales bit a bit.

La comunicación serial es una interface asíncrona es decir sincronizada entre receptor y emisor al tiempo, debido al orden de conexión (Marmolejo, 2017).

Pero también, se pueden utilizar bits de control, los cuales muestran el comienzo y el fin del carácter enviado. Por ende, se envía un bit de inicio y un bit de fin. Formando 10 caracteres enviados, quedando solo 8 con la información, y el otro 20% perdiendo el ancho de banda (Marmolejo, 2017).

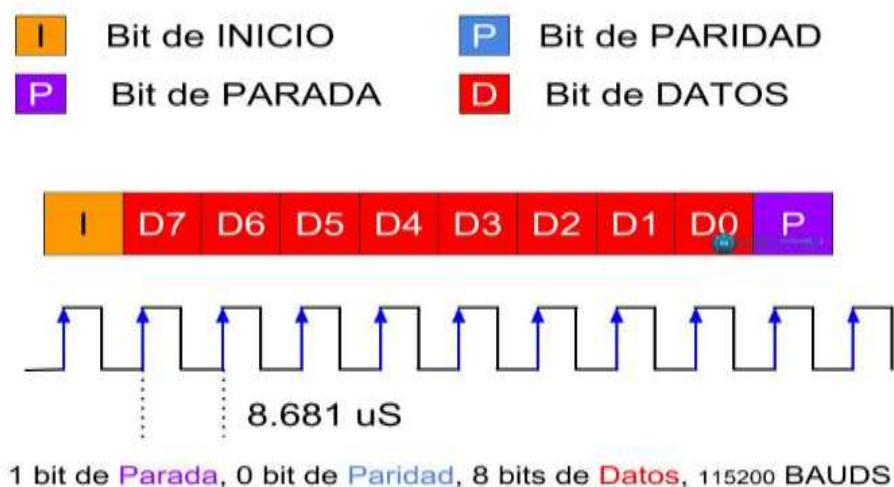


Figura 8. Diagrama de un tipo de comunicación del puerto serie. Fuente: <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/puerto-serial/>

I2C (Inter-Integrated Circuit). Es desarrollado por Phillips que trata de un bus serie (Un cable) la cual utiliza esencialmente para comunicar distintas partes de un circuito. La interfaz I2C consiste en un bus síncrono maestro-esclavo, formado por dos cables llamados **SDA** (línea de datos) y **SDL** (línea de reloj), Además de otro cable que conecta las masas del dispositivo (Jesus, s.f.)

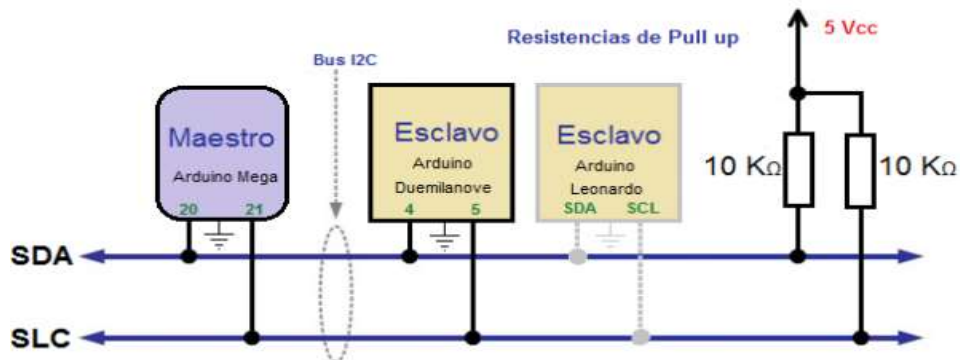


Figura 9. Esquema de una interfaz I2C. Fuente: <https://ardubasic.wordpress.com/2014/07/28/comunicacion-i%C2%B2c/>

Como se dijo anteriormente, en la comunicación I2C existirá un dispositivo que es el principal (Maestro), estará conectado a uno o varios esclavos. (Ver figura 10.) El proceso es:

1. El maestro es quien crea la señal de reloj por la línea SCL, la cual sincroniza el resto de dispositivos.
2. Una vez sincronizados, el maestro envía una dirección de esclavo de 7 bits, un bit de lectura/escritura, además del número de bytes que ocupara la comunicación.
3. El esclavo envía un bit de confirmación y recibe o envía información del maestro.
4. los esclavos vuelven a estar disponibles de nuevo.

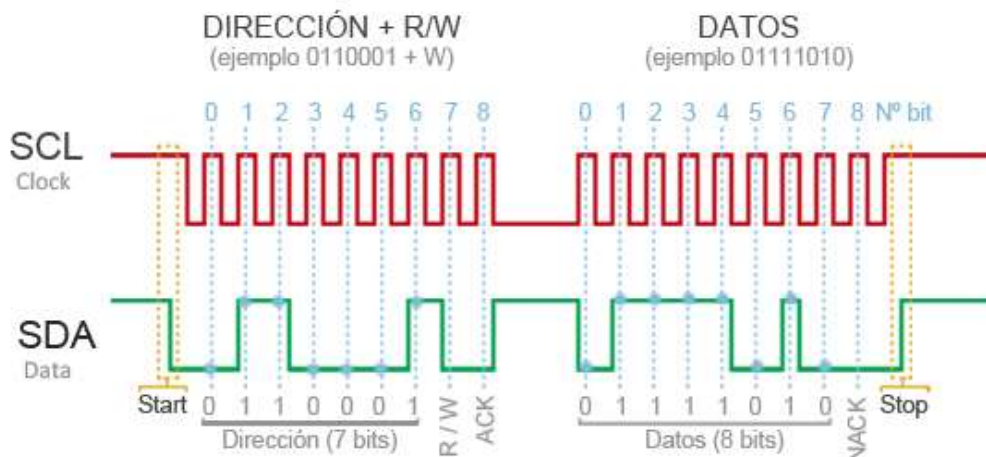


Figura 10. Esquema de las transacciones en el bus I2C. Fuente: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2017/07/09/i2c/>

SPI (Serial Peripheral Interface). La comunicación SPI es síncrona, por lo que requiere una señal de reloj “SCLK” además de tres señales más para establecer la comunicación, “MOSI” (entrada esclava – salida maestra), “MISO” (salida esclava y entrada maestra), “SS” (selección de chip). Al tener dos señales para la comunicación MOSI y MISO se denomina full dúplex. El maestro puede enviar y recibir información simultáneamente, para esto se utiliza la señal SS y así de esta manera seleccionar que esclavo puede enviar o recibir información.

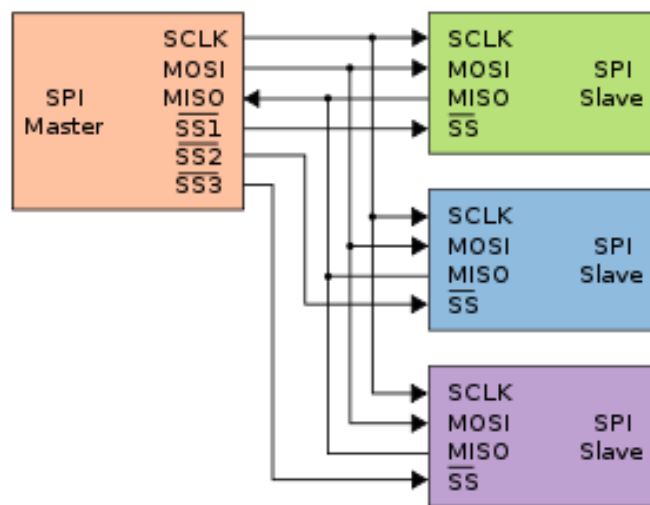


Figura 11. Interfaz de comunicación SPI. Fuente: <https://controlautomaticoeducacion.com/microcontroladores-pic/comunicacion-spi/>

UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter). UART es una comunicación full dúplex, es decir cuenta con dos líneas de intercambio de datos, **RX** (recepción) y **TX** (transmisión), además es necesario una referencia a tierra, para lograr con éxito la comunicación, estas líneas se deben cruzar es decir (receptor (RX) de un dispositivo con transmisión (TX) del otro y viceversa para poder comunicar dos dispositivos (GeekyTheory, 2015)

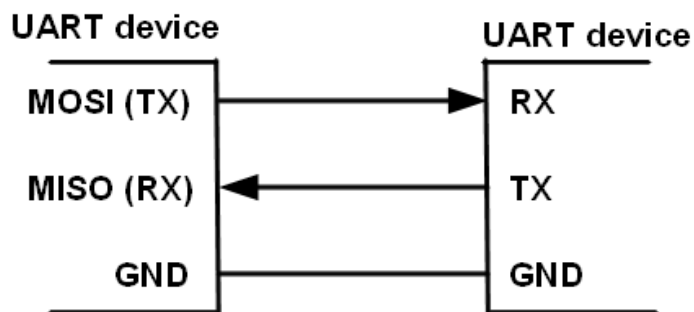


Figura 12. Interfaz de comunicación UART. Fuente: <https://geekytheory.com/puertos-y-buses-1-i2c-y-uart>

La transferencia de datos UART es asíncrona, por lo que no es necesaria una línea de reloj, los datos se transmiten de forma secuencial (se realiza de byte a byte), para lograr esta comunicación es necesario ajustar ciertos parámetros, como la velocidad de transmisión, esta velocidad se mide en Baudios, una velocidad común es 9600 baudios/segundo, esto significa 9600 cambios en un segundo, otro parámetro son los bits de start y stop y se utilizan para detectar cuando inicia y termina los datos y por último parámetro es la longitud de dato, que se debe conocer para poder establecer la comunicación.

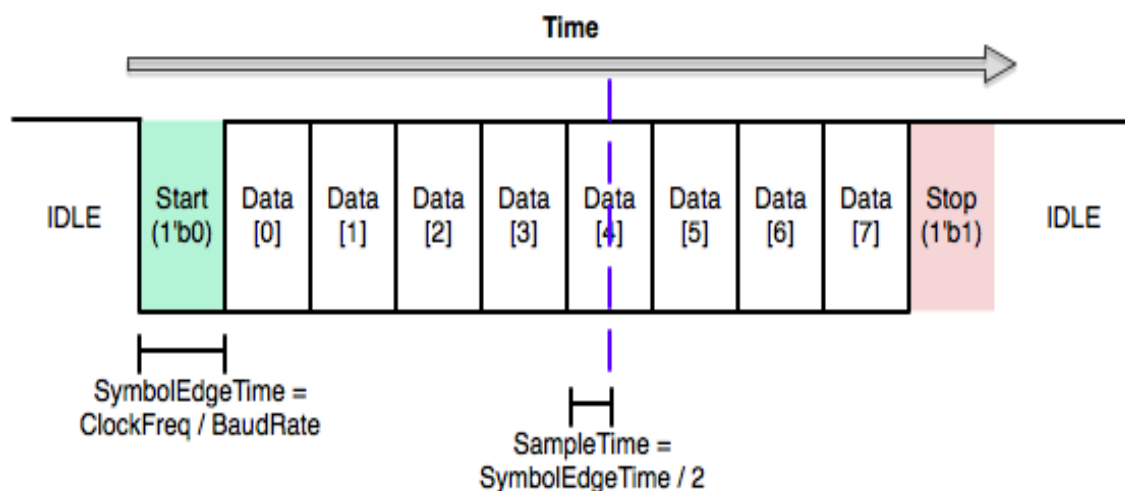


Figura 13. Trama de comunicación UART. Fuente: <https://sites.google.com/site/semilleroadt/nivel-intermedio/uart>

Fase II. Comparar el prototipo mediante las diferentes estaciones de monitoreo que se encuentran en el municipio de Ocaña, Norte de Santander. Para el segundo objetivo se realizó una búsqueda de las diferentes estaciones de monitoreo en el municipio de Ocaña Norte de Santander.

Una vez que se identificadas se procedió a realizar un análisis del manual de diseño de sistemas de vigilancia de la calidad del aire el cual establece unas directrices necesarias para el establecimiento de una estación de monitoreo de material particulado, en donde se tendrán en cuenta los parámetros exigidos para dichos estudios. Una vez obtenidos estos resultados, se procedió a seleccionar los puntos de instalación adecuados.

Fase III. Analizar las concentraciones de material particulado de PM10 y PM2.5 en los distintos puntos seleccionados del municipio. Para el último objetivo se realizaron pruebas de monitoreo en laboratorio y en las estaciones para determinar la capacidad de adsorción de PM, se realizaron las mediciones conjuntas para una mayor viabilidad del prototipo de calidad del aire, recopilando los datos para evaluar y analizar la información.

3.2 Población y muestra

3.2.1 Población. Para el desarrollo de esta investigación, se tuvieron en cuenta las estaciones de monitoreo de la calidad de aire que se encuentran instaladas en la Escuela de Bellas Artes Jorge Pacheco Quintero y en el barrio Santa Clara en las instalaciones de Crediservir Ocaña.

3.2.2 Muestra. Para la investigación se utilizó como muestra, los puntos seleccionados en los cuales se hizo la recolección de datos que se llevó a cabo con mediciones de 24 horas, cada tercer día en cada una de las estaciones ósea cada 72 horas se tomar los datos correspondientes que estos toman 1 dato por minuto dando como resultados 1.440 datos y en tres días será 4.320.

3.3 Diseño de instrumentos de recolección de la información y técnicas de análisis de datos

En la recolección de información de esta investigación se realizaron pruebas Experimentales con datos estadísticos donde se diseña e implementa el prototipo que pueda medir material particulado y utilizando las estaciones metodológicas y laboratorios de la calidad del aire del municipio de Ocaña, podemos tener los datos necesarios para la validación del mismo.

Para tener más claro el concepto del dispositivo o prototipo UFPSO PM2.5 – PM10, se puede definir como un equipo que realiza la medición de partículas suspendidas en el aire y a su vez permite monitorizar y almacenar en tiempo real la concentración de partículas PM2.5 - PM10. Para llevar a cabo la realización del proyecto se empleó la técnica, experimental, que es una manera directa, precisa y confiable de recolectar datos precisos.

3.4 Análisis de información

La información suministrada de las pruebas experimentales de los laboratorios de calidad del aire y estaciones metodológicas del municipio de Ocaña, se realizó de forma cualitativa y

cuantitativa. Con el análisis de los datos generados y por medios de tablas y figuras de esta manera se logró conocer la efectividad del prototipo con la propuesta de trabajo de grado.

Capítulo 4. Presentación de resultados

Para desarrollar el diseño e implementación de un prototipo de muestreo de la calidad del aire de pm10 y pm2.5 para el municipio de Ocaña Norte de Santander, se procedió de acuerdo a los siguientes objetivos.

4.1 Diseño de un prototipo que permita el estudio de la calidad el aire de PM10 Y PM2.5, mediante el uso de sensores de serie HPMA de Honeywell

Para llevar a cabo este proyecto, se propuso la creación de un prototipo electrónico que permita detectar y cuantificar la cantidad de material particulado al que las personas están siendo sometidas. Una vez obtenidos estos resultados, se usaron para generar reportes y estadísticas que ayuden, a mantener informados en tiempo real sobre qué zonas de su ciudad están más contaminadas y a qué horas, siendo necesario para elegir una ruta vial alternativa para circular.

Este trabajo de grado, descrito anteriormente, fue desarrollado en varias etapas:

- Investigar y recopilar información de los diferentes sensores de material particulado.
- Seleccionar el Sensor para el material particulado.
- Selección de materiales para la construcción del prototipo
- Construcción del prototipo.

Para la selección del sensor, se llevó a cabo una investigación de mercadeo, se realizaron consultas en páginas web y tiendas electrónicas, para determinar cuál era el más viable,

dependiendo de su valor, disponibilidad, electrónica y características propias, siguiendo estas pautas se logró determinar que el sensor más adecuado era el Honeywell HPMA115S0-XXX.

En este caso, el sensor utiliza el principio de dispersión laser. Por la cual un fotodiodo detecta la cantidad de luz incidente que es proporcional al diámetro de la partícula. Esta señal es manipulada y adecuada con un algoritmo patentado por el fabricante, la cual es amplificada y enviada a la tarjeta principal.

Luego de los resultados de la investigación, se procedió a la compra, ya con el sensor disponible, se empezaron a realizar pruebas de configuración y funcionamiento, de esta forma se logró evidenciar toda su estructura, que garantizara su uso y correcto funcionamiento, para la obtención de los datos que se requerían.

Posteriormente se elaboró un diagrama esquemático, que dejó en evidencia los componentes y módulos que integrarían el proyecto. En un principio se desarrollaron circuitos de acoplamiento y se procedió a probar cada uno de ellos.

4.1.1 Etapas de diseño del prototipo. Se diseñó una etapa de alimentación, que proporcionara el voltaje adecuado para el Circuito, y eliminara la mayor cantidad de ruido e interferencia posible. Por medio de un osciloscopio se logró evidencias este comportamiento.

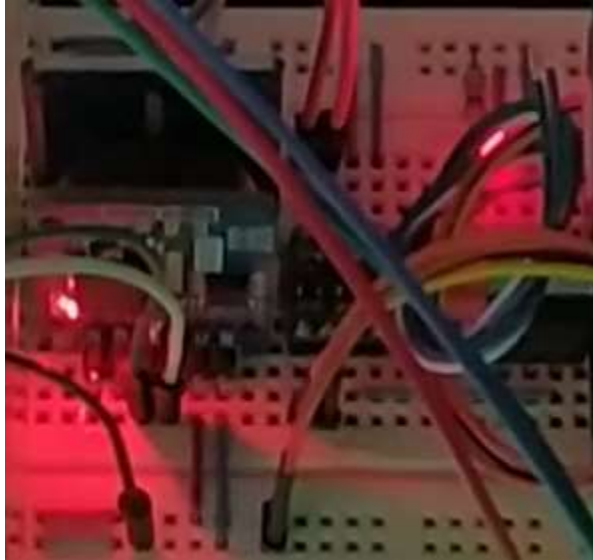


Figura 14. Etapa de alimentación. Fuente: (Autores 2020)

Para realizar todo el control y manipulación de variables, se utilizó un microcontrolador Atmega328PU de 8 Bits, el cual se encargará del todo el procesamiento de datos, en esta parte se agregó el circuito necesario para su funcionamiento, se integró con la fuente de alimentación descrita anteriormente, se realizaron programas de prueba para garantizar su estado.

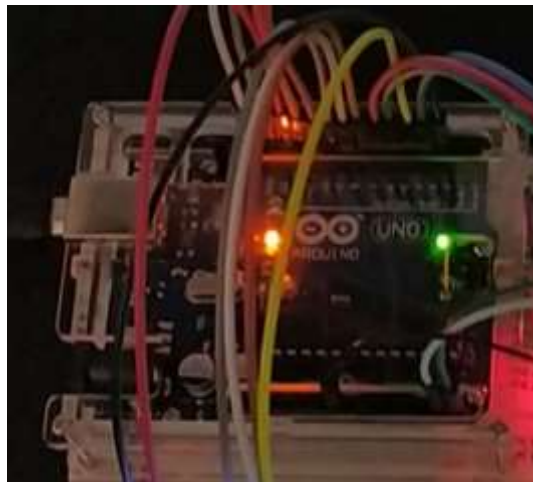


Figura 15. Microcontrolador Atmega328PU de 8 Bits. Fuente: (Autores 2020)

Debido a las normas ambientales, existen rangos donde se puede medir los límites de peligrosidad, estos tipos de datos se pueden manejar numéricos y visuales, por esta razón se hizo necesaria la implementación de una pantalla LCD 2x16 (Figura 16), para conocer el valor de las partículas detectadas, además con la capacidad de validar el comportamiento de todo el equipo, en la etapa visual conto con un led RGB (Figura 16), capaz de emitir un color determinado para cada rango, antes de su integración con las etapas anteriores se realizaron pruebas independientes.

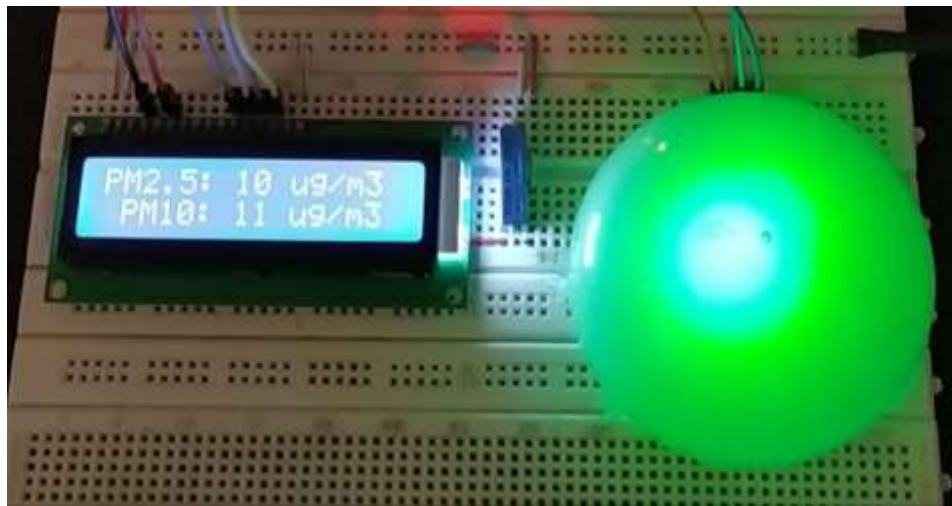


Figura 16. Pantalla LCD y led RGB. Fuente: (Autores 2020)

Como uno de los puntos importantes del proyecto era monitorear en tiempo real y de esta forma conocer los datos para su estudio, se dispuso de un módulo de tiempo real, que cuenta con comunicación I2C (Figura 17), el cual sería el encargado de enviar los datos de hora y fecha, cada vez que se generara una captura de datos del sensor.

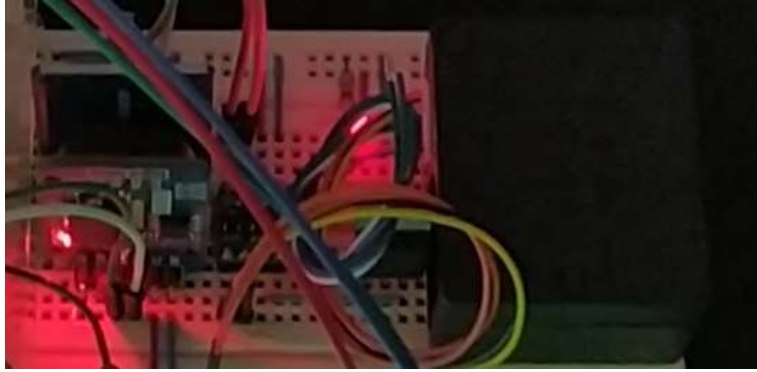


Figura 17. Comunicación I2C Y MicroSD. Fuente: (Autores 2020)

Por último, se integró un módulo de MicroSD (Figura 17), donde se almacenarán los datos generados por el equipo para su manipulación. Esta comunicación se hace por medio del protocolo SPI entre el módulo y el microcontrolador.

Como parte principal después del proyecto se decidió hacer un software lo más sencillo posible, de esta manera se facilitaría su uso, gracias a la IDE de Arduino se diseñó el programa principal que fuera capaz de hacer todo el tratamiento de las señales, y a su vez ir monitoreando todo el sistema para arrojar los valores correspondientes a cada medición.

Por medio de la integración de todos los módulos y la electrónica se logró obtener un primer prototipo de pruebas montado en un protoboard, que sirvió para estudiar el comportamiento de todo el conjunto (Figura 18).

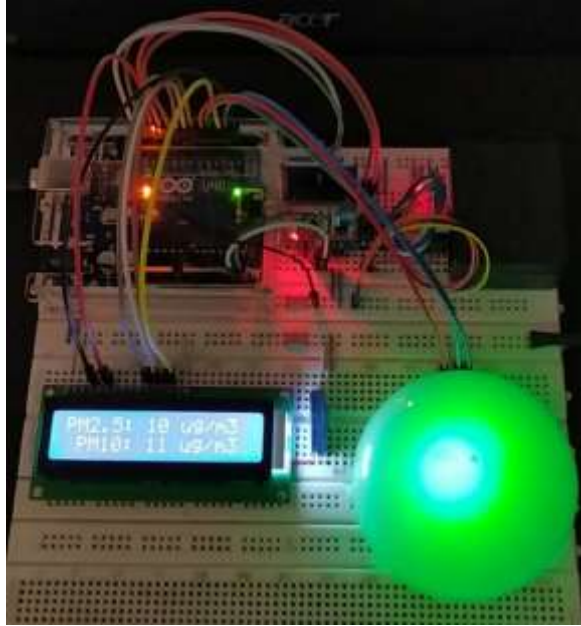


Figura 18. Protoboard. Fuente: (Autores 2020)

Tras finalizar el desarrollo del software, y la integración de todos los circuitos, se inició la etapa final del proyecto, fue la implementación de todo el prototipo en una tarjeta universal (Figura 19), dado que el tipo de conexión garantizaría la eficiencia del proyecto, para su uso en cualquier ambiente, posterior a esto se decidió implementar una caja impermeable que aislara el circuito del exterior, por último, montaje del prototipo observar figura 19.

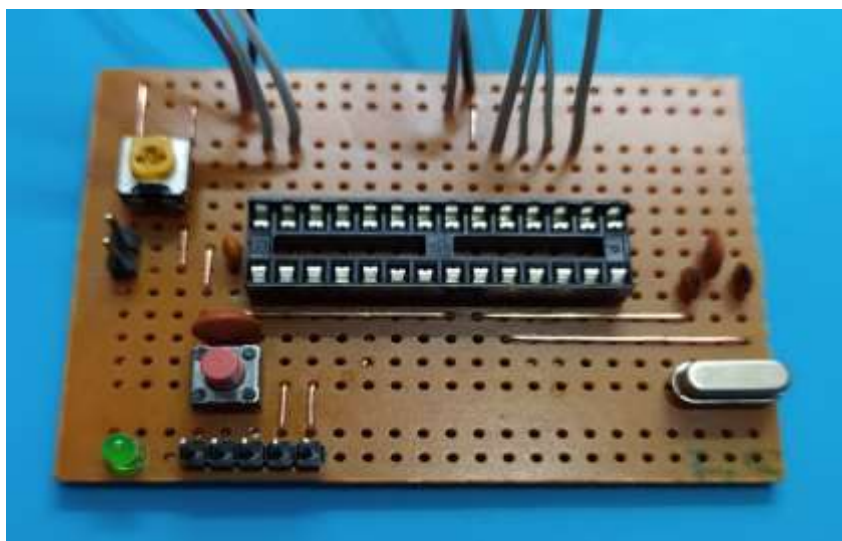


Figura 19. Tarjeta universal. Fuente: (Autores 2020)

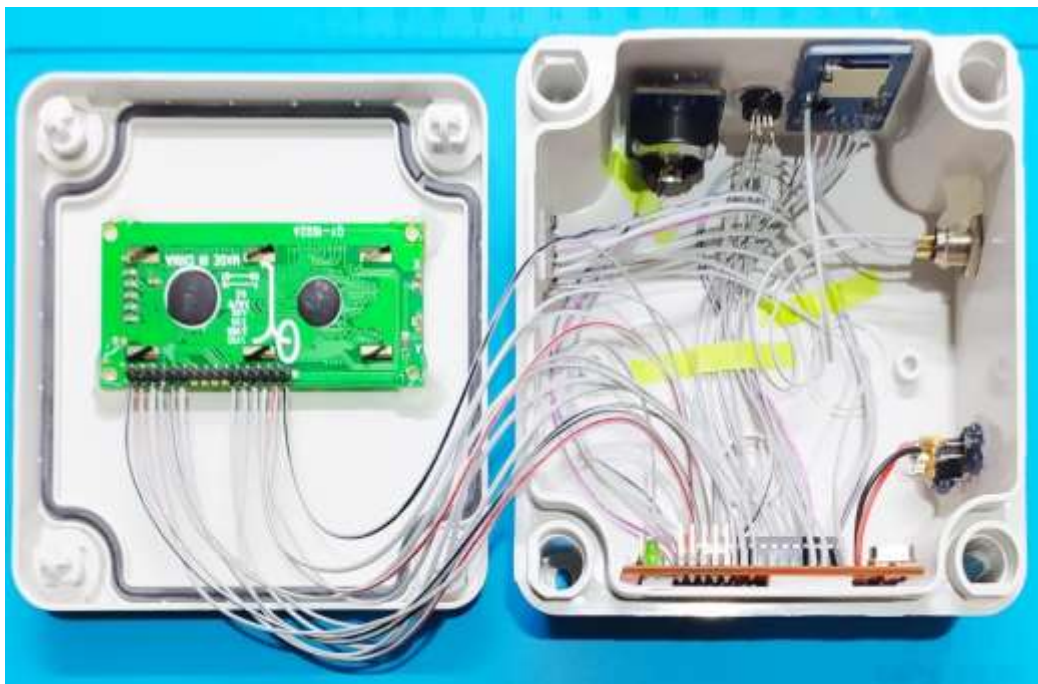


Figura 20. Caja impermeable. Fuente: (Autores 2020)



Figura 21. Montaje del Prototipo. Fuente: (Autores 2020)

4.2 Comparación del prototipo mediante las diferentes estaciones de monitoreo que se encuentran en el municipio de Ocaña Norte de Santander

En esta segunda fase, se basó en el manual de operaciones de sistemas de vigilancia de la calidad del aire como principal fuente de información, se tomó como punto de partida los criterios establecidos del protocolo para la operación de sistemas de vigilancia automáticos (uso de sensores) y manuales.

4.2.1 Métodos de muestreo de material particulado.

Manuales. Los procedimientos para la determinación de concentración de pm10 y pm 2.5 en sistemas de vigilancia manuales se debe recolectar de la siguiente manera. Toma de muestra, análisis, procesamiento de información, reporte, aseguramiento y control de la calidad y mantenimiento y calibración de equipos.

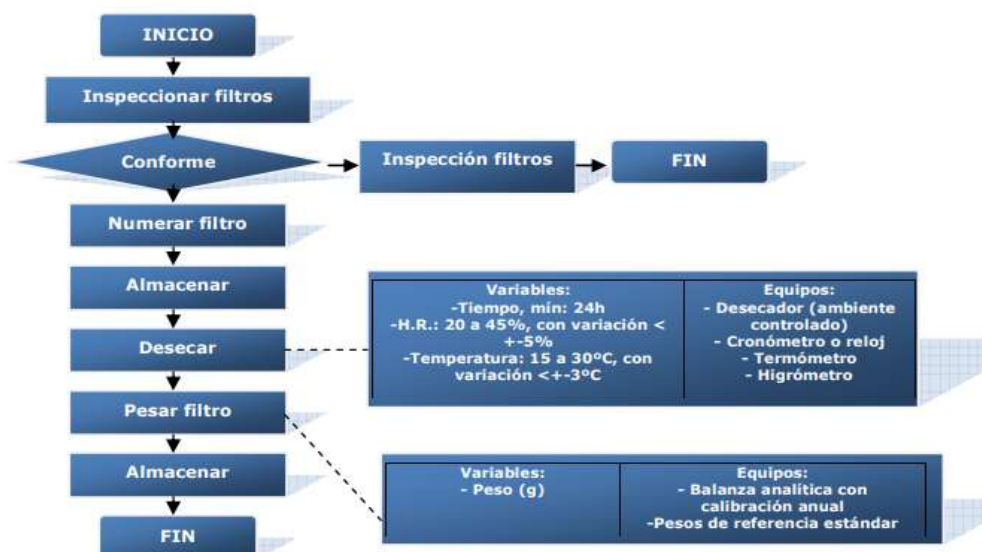


Figura 22. Toma de muestra previo a realizarse. Obtenido: https://oab.ambientebogota.gov.co/?post_type=dlm_download&p=3768

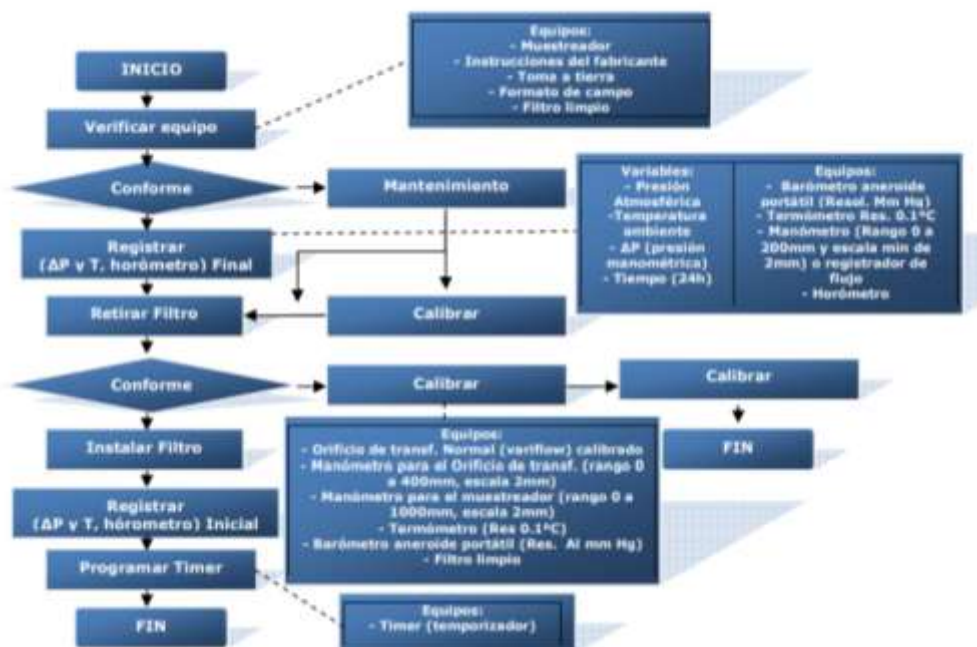


Figura 23. Durante el proceso de la toma. Obtenido: https://oab.ambientebogota.gov.co/?post_type=dlm_download&p=3768

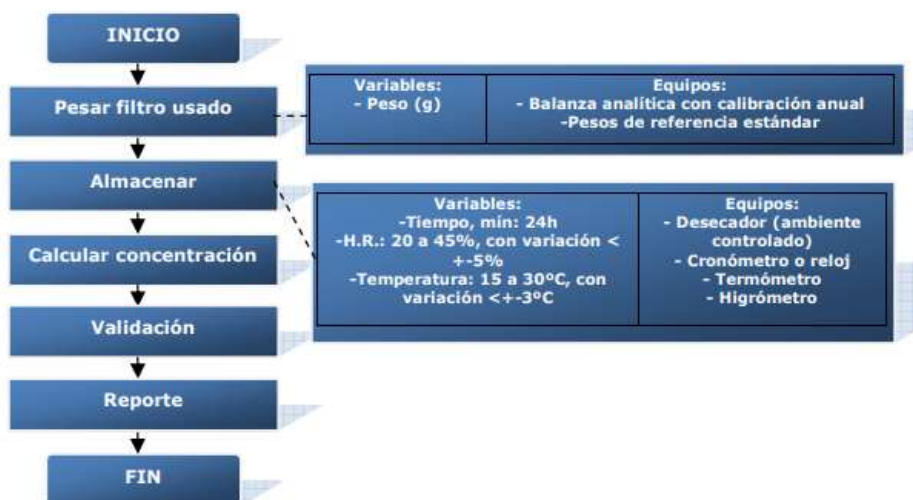


Figura 24. Después de la toma. Obtenido: https://oab.ambientebogota.gov.co/?post_type=dlm_download&p=3768

Automáticos. Para los sistemas de vigilancia de calidad del aire automático no requiere un análisis posterior, por medio de métodos eléctricos u ópticos se toma la muestra directamente en tiempo real dado esto las etapas para la toma de muestra es la siguiente.

Toma de muestra y análisis, procesamientos de la información, reporte, aseguramiento y control de la calidad y mantenimiento y calibración de equipos.

Las operaciones automáticas deben estar amparadas bajo un plan para garantizar la efectividad del proceso y la calidad de la información

Requerimientos para un sistema de vigilancia de material particulado automático.

Para un sistema de vigilancia de material particulado automático debe contar con una infraestructura básica, ubicación de acuerdo a la rosa de vientos, una medición como mínimo de 30 muestras, precipitación manual o portátil y tener una calibración, de acuerdo al ministerio de ambiente para la ubicación de un sistema de vigilancia y obtener datos confiables se deben tener en cuenta estos requerimientos.

Tabla 2

Requerimientos para un sistema de vigilancia de material particulado automático

Contaminantes	Requerimientos	Valor
Material particulado	Distancia desde la estructura de soporte	>2 m
	Número de estaciones	2
	Altura sobre el suelo	2-15m
	Distancia arboles	> 10m
	Distancia a la vía principal	5 - 15 m

Nota: Es adaptado de ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo sostenible (2010) para tener claro los principales requerimientos. Fuente: Autores (2021)

Selección de los puntos de instalación. Estos puntos fueron seleccionados debido a que forman parte de los sitios que cuentan con estaciones de medición de material particulado. Cabe recordar que se establecieron los puntos estratégicos para la instalación de los dispositivos de

medición, teniendo en cuenta los requerimientos para la ubicación establecidos en este caso la dirección del viento, observar figura 25.

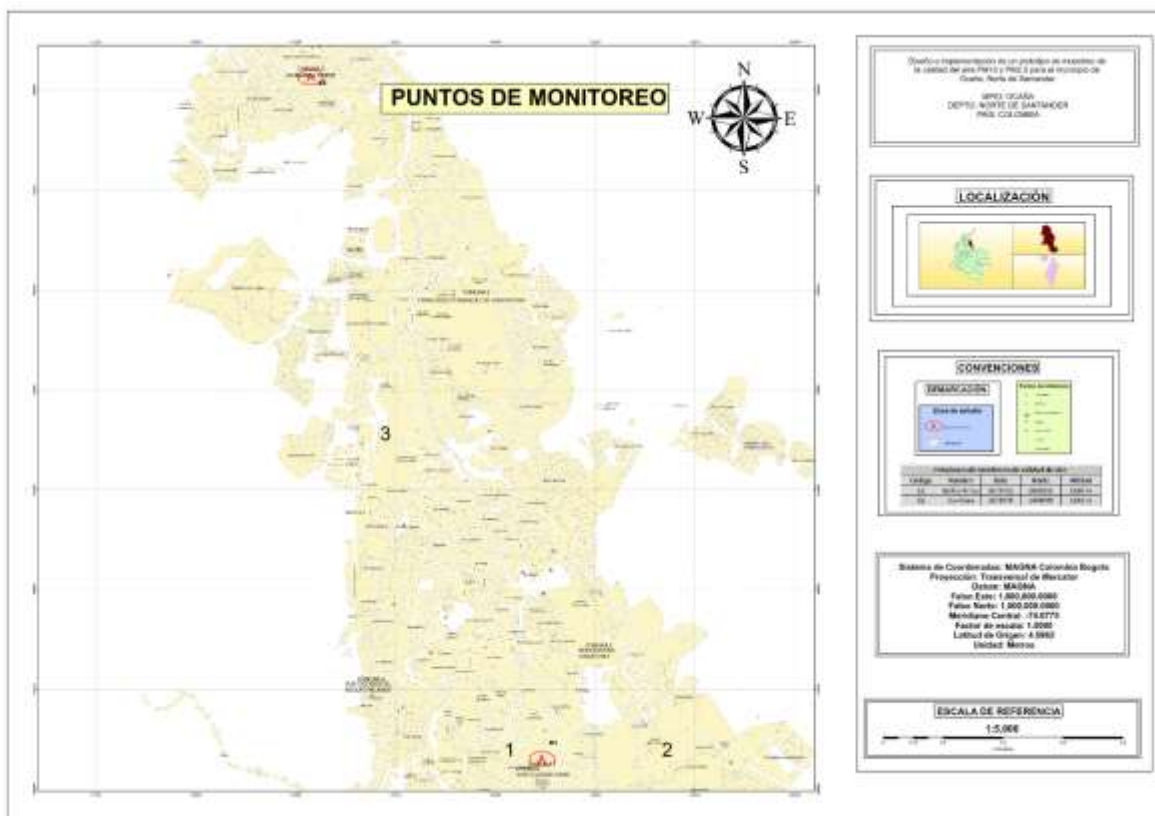


Figura 25. Mapa de puntos de monitoreo. Fuente: (Autores 2020)

Estación en Bellas Artes.

Tabla 3

Estación de Bellas Artes

Barrio/dirección	Zona centro Calle 10 entre carreras 13 y 14
Equipo de medición	High Volume Air Sampler PM10. Tisch Environmental, Manual
Practica de medición	La medición se hace durante 24 horas cada 72 horas
Descripción	La estación de medición de la calidad del aire se encuentra ubicada en una vía urbana a una altura aproximadamente de 9 metros.

Nota: se hace una breve descripción de ubicación, modelo, practica de la estación de medición de la calidad del aire en bellas Artes. Fuente: Autores (2021)

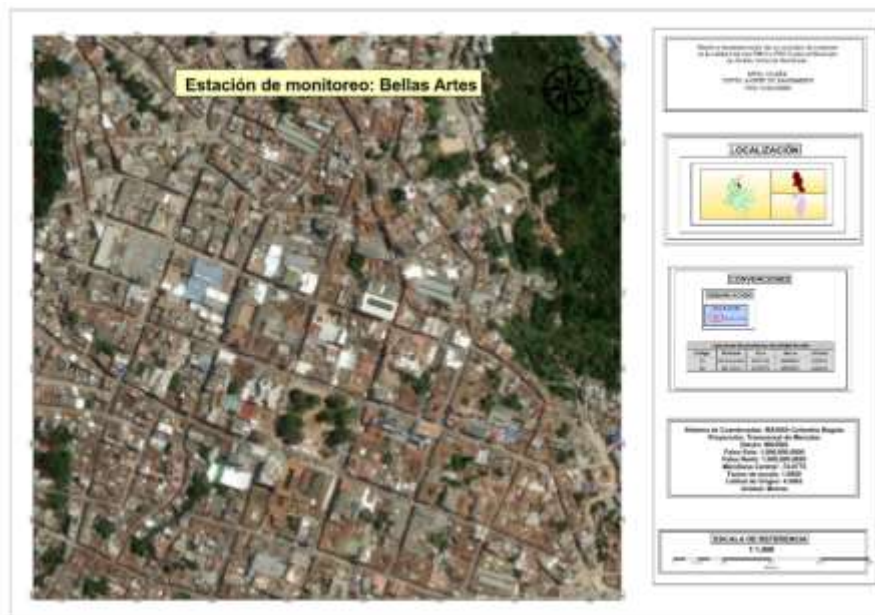


Figura 26. Mapa de Sitio de Bellas Artes. Fuente. (Autores 2020)

Para la ubicación del prototipo electrónico en la estación de medición de bellas artes, fue ubicado a un lado, teniendo en cuenta que este no generara alguna interrupción para la muestra de la estación manual.



Figura 27. Ubicación del prototipo electrónico en Bellas Artes. Fuente (Autores 2020)

Estación en Crediservir Barrio Santa Clara.

Tabla 4

Estación Barrio Santa Clara

Barrio/dirección	Barrio Santa clara Carrera 49 N° 5ª-18
Equipo de medición	High Volume Air Sampler PM10. Tisch Environmental, Manual
Practica de medición	La medición se hace durante 24 horas cada 72 horas
Descripción	La estación de medición de la calidad del aire se encuentra ubicada en la vía nacional a una altura aproximadamente de 9 metros.

Nota: Se hace una breve descripción de ubicación, modelo, práctica de la estación de medición de la calidad del aire en santa clara, acabe recordar que la estación está ubicada en la entidad de Crediservir a una distancia de 7 metros de la vía. Fuente: Autores (2021)

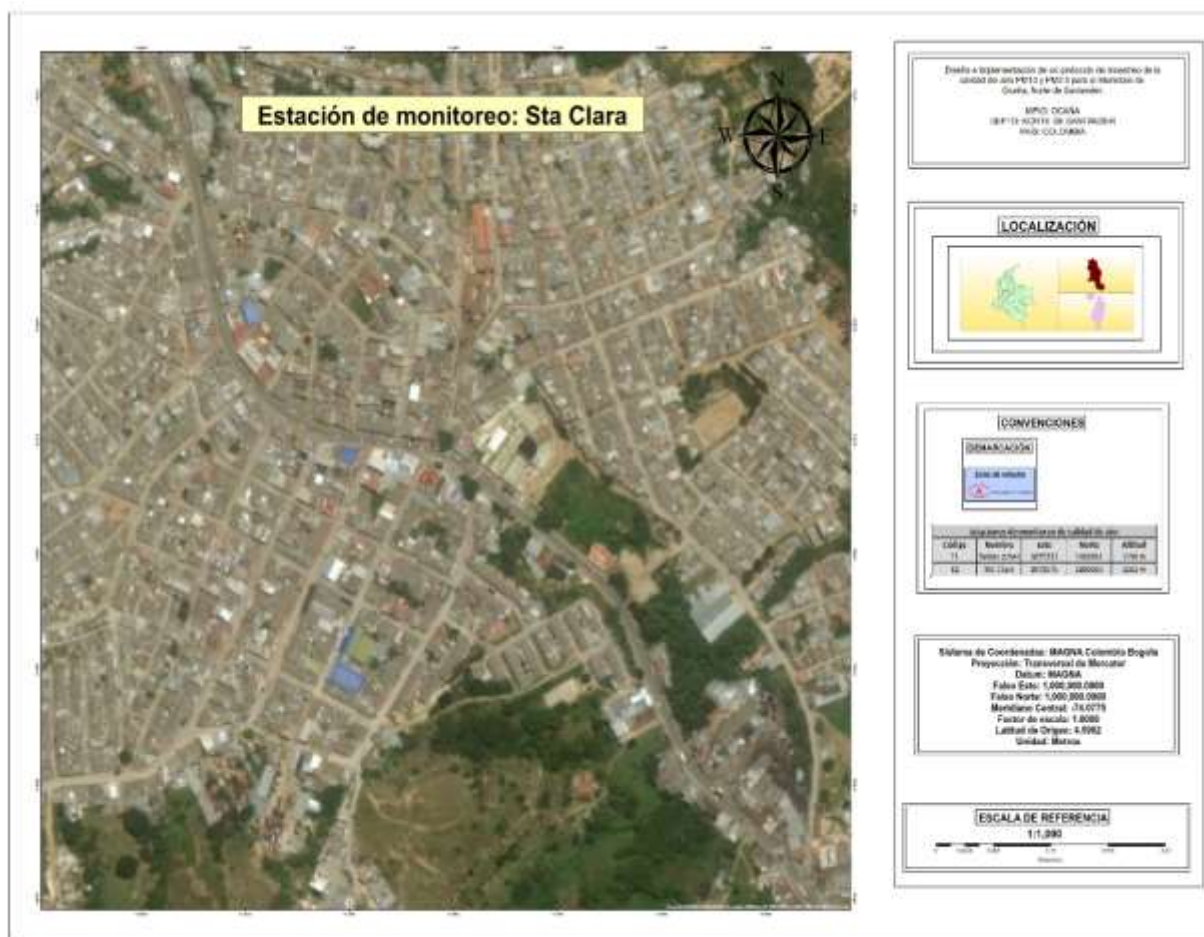


Figura 28. Mapa de sitio Barrio Santa Clara. Fuente. (Autores 2020)



Figura 29. Ubicación del prototipo electrónico en el barrio Santa Clara. Fuente. (Autores 2020)

4.3 Analizar las concentraciones de material particulado de PM10 Y PM2.5 en los distintos puntos seleccionados del municipio.

Para el análisis de las concentraciones del prototipo de diseño llamado UFPSO PM2.5 – PM10 y las estaciones manuales ya establecidas, se crearon muestras acordes a lo estipulado en los manuales de SVCA; en este caso, las mediciones se hicieron de manera conjunta durante 24 horas por tres días, dando como resultados un total de 4320 datos durante ese lapso de tiempo para el prototipo mencionado; así mismo, la estación manual arroja un único resultado por filtro.

Recolección de la información. De acuerdo a las mediciones realizadas con el muestreador electrónico UFPSO PM2.5 – PM10 ensamblado y el muestreador manual perteneciente a la red de monitoreo de calidad del aire UFPSO – CORPONOR ubicado en Bellas Artes, se obtuvo diferencias de $9,51\mu\text{g}/\text{m}^3$, $6,99\mu\text{g}/\text{m}^3$ y $5,54\mu\text{g}/\text{m}^3$, para los días 05-09 y 13 de diciembre del 2020 respectivamente (Tabla 8, figura, 30, 31 ,32)

Tabla 5
Resultados comparativos Bellas Artes

Fecha	05/12/2020		09/12/2020		13/12/2020	
	PM 2.5	PM10	PM 2.5	PM10	PM 2.5	PM10
Prototipo	14,87	17,69	16,68	19,92	14,87	17,82
Manual	0	27,2	0	26,92	0	23,36
Diferencia	0	9,51	0	6,99	0	5,54

Nota: Los datos obtenidos del PM10 del muestreador manual perteneciente a la red de monitoreo de calidad del aire UFPSO – CORPONOR son de los filtros N° 86B, 87B Y 88B. Fuente: Autores (2021)

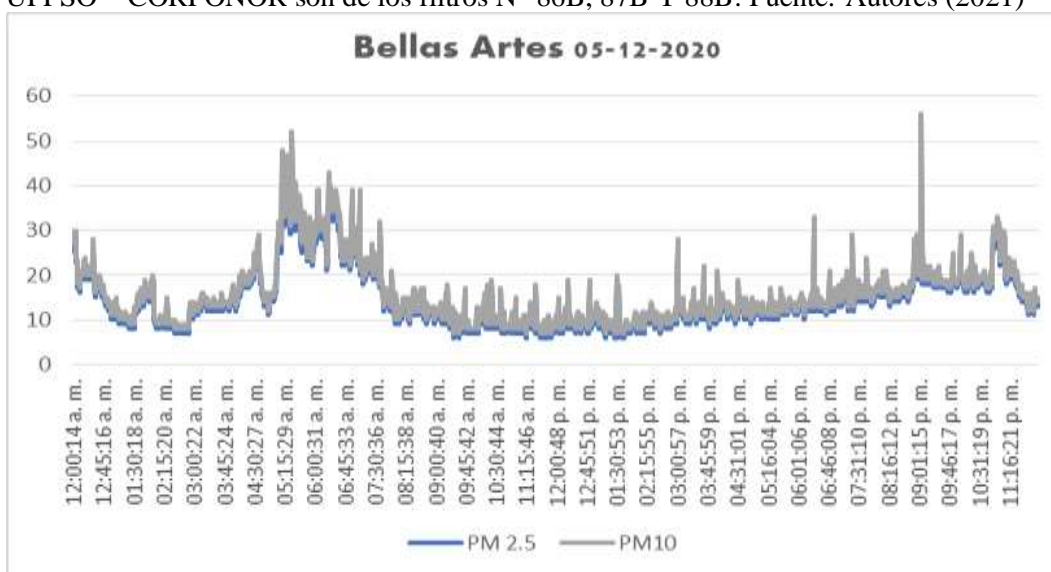


Figura 30. Grafica de muestras del prototipo Bellas Artes. Fuente: (Autores 2020)

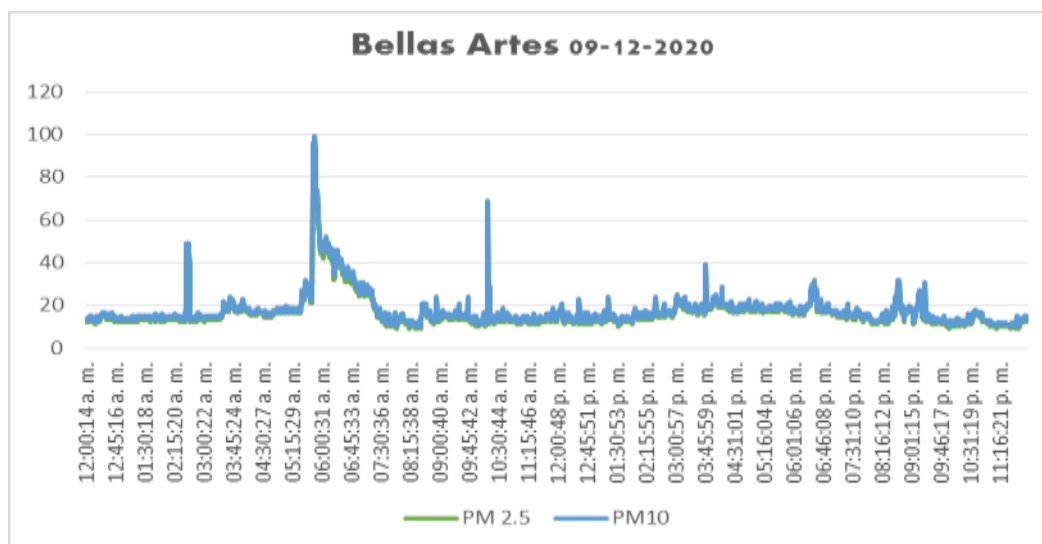


Figura 31. Grafica de muestras del prototipo Bellas Artes. Fuente: (Autores 2020)

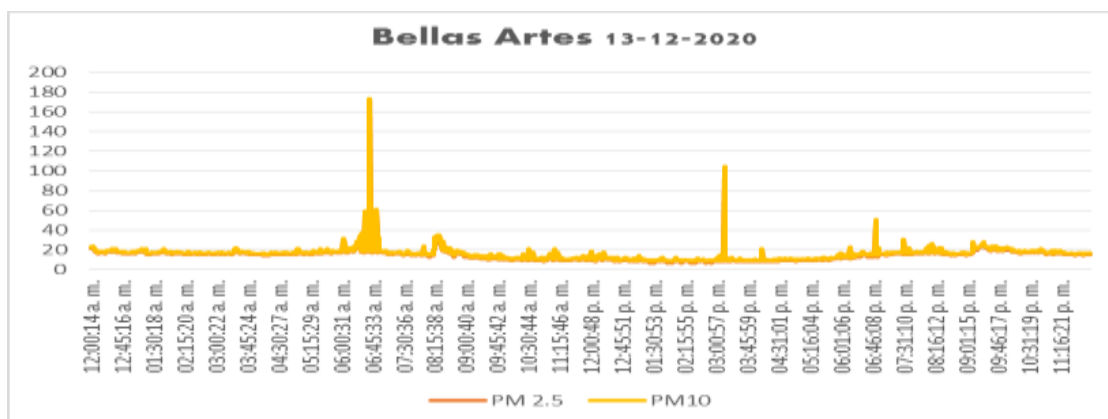


Figura 32. Grafica de muestras del prototipo Bellas Artes. Fuente: (Autores 2020)

Para el barrio Santa clara, se obtuvieron diferencias de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$, $19\mu\text{g}/\text{m}^3$ y $17,15\mu\text{g}/\text{m}^3$ para los días 29 de enero del 2021; 02 y 09 de febrero del mismo año (Tabla 9, figura, 33, 34 ,35)

Tabla 6

Resultados comparativos Santa Clara

Fecha	29/01/2021		02/02/2021		06/02/2021	
	PM 2.5	PM10	PM 2.5	PM10	PM 2.5	PM10
Prototipo	26	28	27	30	32,08	33,74
Manual	0	38	0	49	0	50,89
Diferencia	0	10	0	19	0	17,15

Nota: Los datos obtenidos del PM10 del muestreador manual perteneciente a la red de monitoreo de calidad del aire UFPSO – CORPONOR son de los filtros N° 8C, 9C Y 10C. Fuente: Autores (2021)

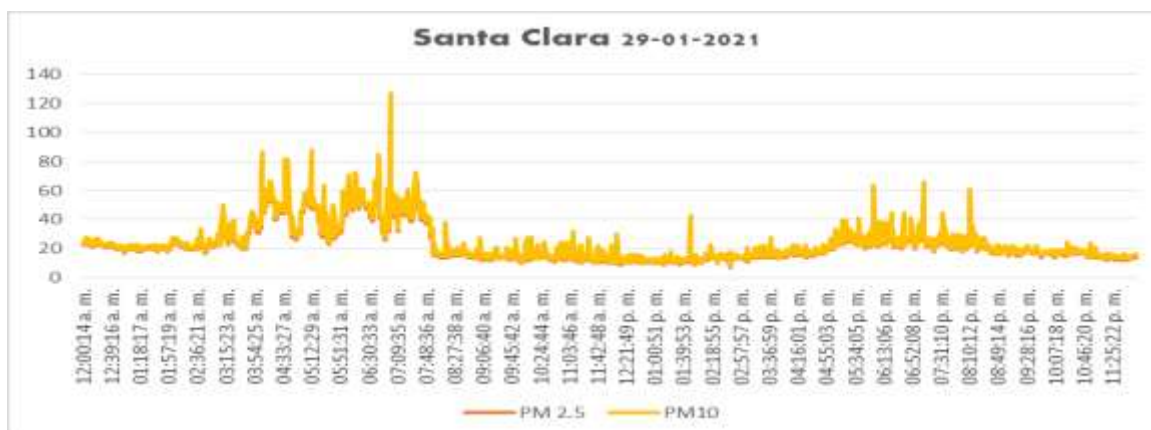


Figura 33. Grafica de muestras del prototipo Santa Clara. Fuente: (Autores 2020)

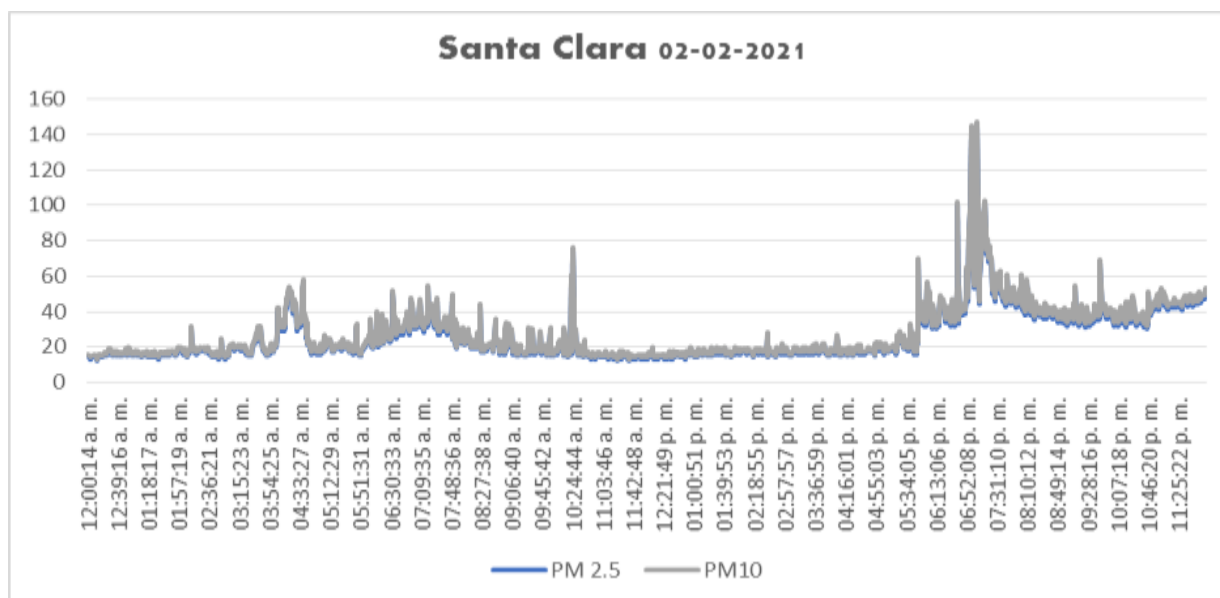


Figura 34. Grafica de muestras del prototipo Santa Clara. Fuente: (Autores 2020)

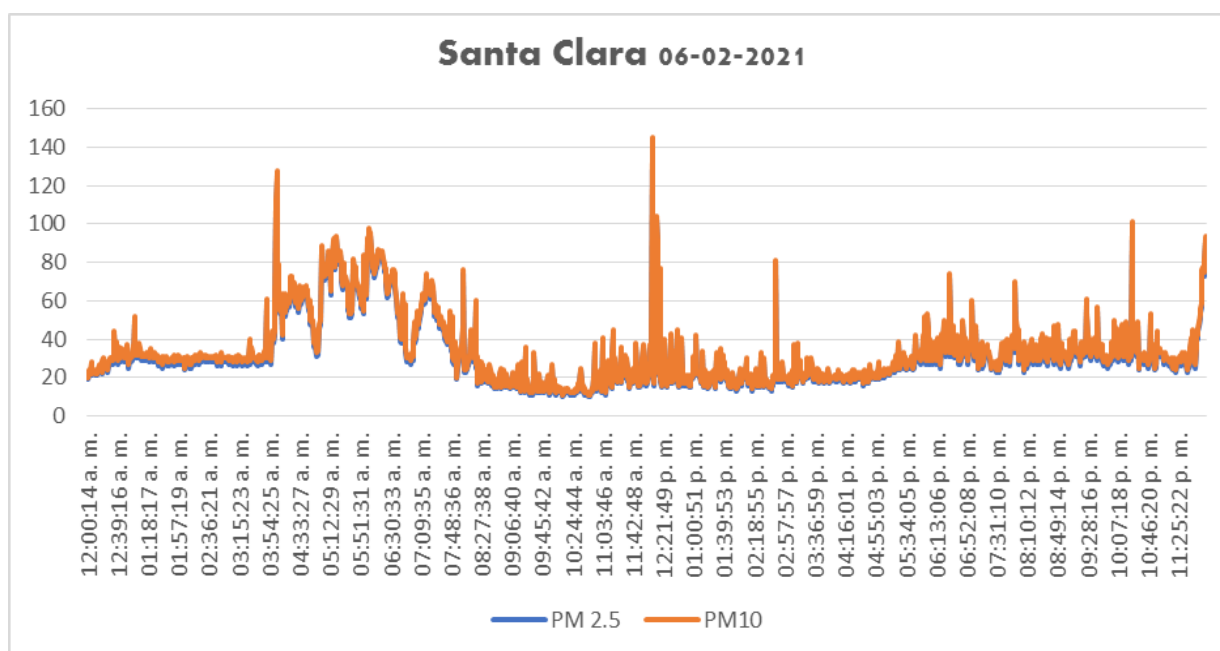


Figura 35. Grafica de muestras del prototipo Santa Clara. Fuente: (Autores 2020)

Para los resultados comparativos de la estación manual de PM10 (High Vol) y el prototipo UFPSO PM2.5 – PM10 ubicado en Bellas Artes y Santa Clara se pudo observar notables diferencias en algunas mediciones, de todos modos, se debe tener en cuenta que, de acuerdo a las consideraciones de los fabricantes del muestreador manual, este puede tener fallas

debido a la calidad de los filtros, controlador de flujo, pesaje de los filtros, humedad ambiente, transporte de los filtros y el motor. Así mismo es importante tener en cuenta que la precisión este equipo puede variar entre 5%.

No obstante, el fabricante confirma que hasta el momento no existe un parámetro absoluto que permita calibrar o ajustar dicho instrumento, sin embargo, para determinar la calidad de los datos se recomienda medir con otro equipo manual con el fin de observar las posibles variaciones. En lo referente al prototipo construido, el fabricante del sensor instalado determina que el equipo tiene un margen de error de entre un 15%

Capítulo 6. Conclusiones

Desde la información recolectada para la obtención del sensor se pudo determinar que la serie HPMA de Honeywell es la más óptima para el análisis de datos de la calidad del aire, puesto que este está patentado, es de bajo costo y su vida útil es larga, dado esto se suministró la adecuación del equipo electrónico con materiales que nos aporte una protección a la intemperie permitiendo su uso en distintos ambientes, para los datos del mismo se hace a través de una memoria interna en su caja que se hace más fácil obtener la información, para la toma de datos se establece los criterios del protocolo para operaciones de sistemas de vigilancias automáticos que los establece los manuales de calidad del aire, posteriormente;

El equipo electrónico UFPSO PM2.5 – PM10 permite menos manipulación, ya que por su composición y estructura no admite mucha intervención de parte humana; en su nivel de programación es más autónomo en los procesos para la generación de una toma de datos más exacto; además, el equipo es fácil de usar y configurar ya que sus componentes vienen estandarizados y su sensor cuenta con su algoritmo propio de calibración; a su vez.

El equipo electrónico establecido, permite una portabilidad más fácil, dado que su tamaño y peso, se pudo trasladar al sitio que se desee para tomar datos de contaminación atmosférica; al mismo tiempo, el sistema con el que cuenta el equipo, tiene mayor velocidad de muestreo, permitiendo obtener resultados más rápidos y precisos de las distintas muestras de contaminación del lugar donde se opere el mismo. Por otra parte, se puede obtener información en tiempo real, ofreciendo la oportunidad de dar a conocer de manera oportuna los datos de contaminación atmosférica por los diferentes medios de comunicación.

El equipo puede dar la oportunidad de conocer a la población de forma instantánea los niveles de contaminación atmosféricas que se estén dando en ese momento, esta información se puede dar por colores según su estándares de la resolución 2254 de 2007, que establece los niveles permisibles.

Capítulo 7. Recomendaciones

Para posteriores estudios se recomienda tener otros equipos disponibles para el ajuste y Verificación del equipo, con el fin de poder medir el margen de error del equipo, y poder dar un dato exacto sobre la calidad del aire en el sector.

Para llevar a cabo el proceso de toma de datos se recomienda hacerlo en un tiempo no Menor a la usada en este trabajo con el propósito de que estos sean más representativos y permitan obtener análisis más precisos, también realizar un estudio temporal en las distintas etapas climáticas del año (Temporada seca y temporada lluviosa).

Otro aspecto importante, es aplicarlo como mecanismo de enseñanza (educación Ambiental) con el fin de establecer el estado de contaminación para así verificar la calidad del aire y comprobar si cumple con las normas establecidas por el ministerio de medio ambiente.

Se pueden entregar los resultados que se obtengan del monitoreo de contaminación a las personas interesadas, para de esta forma contribuir a la educación de la sociedad en la preservación del medio ambiente.

Por último, es recomendable que se continúe trabajando en el tema en otros trabajos de Grado, para obtener un equipo de mayor precisión.

Referencias

- Alcaldía de Ocaña, Norte de Santander. (2015). *Plan básico de ordenamiento territorial revisión, modificación y ajustes*. Ocaña.
- Alvarez, I. (2017). *Influencia de los contaminantes atmosféricos sobre la salud*. Habana: Revista Médica Electrónica.
- Andalucía, O. d. (s.f.). *Calidad del aire interior*. Obtenido de https://www.diba.cat/c/document_library/get_file?uuid=c7389bc9-6b7b-4711-bdec-3ead4bc9a68b&groupId=7294824
- Andalucía, O. d. (s.f.). *Calidad del aire interior*. Obtenido de https://www.diba.cat/c/document_library/get_file?uuid=c7389bc9-6b7b-4711-bdec-3ead4bc9a68b&groupId=7294824
- Arciniegas, C. (2011). *Diagnostico y control material particulado*. Manizales: (Rev. 2011-11-30) .
- Armesto, A. (4 de Marzo de 2015). https://ufpso.edu.co/ftp/pdf/otros_documentos/informe_de_material_particulado_diciembre_-_marzo_042103_1423.pdf. Obtenido de Informe de la concentración de material particulado PM10 en la zona urbana del municipio de Ocaña.
- Arrieta, A. (2019). *Desarrollo de un prototipo para la medición de calidad del aire en la universidad de sucre empleando tecnología de vehículos aéreos no tripulados*. Sincelejo: Universidad de Sucre.
- Arrow. (s.f.). *Arrow Electronics*. Obtenido de <https://www.arrow.com/en/research-and-events/articles/honeywell-hpm-particle-sensor>
- Autoridad Nacional de Licencias Ambientales. (2019). <http://portal.anla.gov.co/permiso-emisiones-atmosfericas>. Obtenido de Definiciones.
- Autoridad Nacional de Licencias Ambientales[ANLA]. (s.f.). *GLOSARIO: PERMISO DE EMISIONES ATMOSFERICAS*. Obtenido de <http://portal.anla.gov.co/permiso-emisiones-atmosfericas#:~:text=Fuente%20fija%3A%20Es%20la%20fuente,se%20produzca%20en%20forma%20dispersa.&text=Fuente%20fija%20puntual%3A%20Es%20la,aire%20por%20ductos%20o%20chimeneas>.
- Castiblanco, C., & Cañon, N. (2018). *Prototipo de bajo costo para monitoreo de calidad el aire en ambientes interiores*. Bogota: repository.unipiloto.edu.co.
- Castiblanco, C., & Cristian, N. (2 de 10 de 2019). *Prototipo de bajo costo para monitoreo de la calidad del aire* . Obtenido de Germina - San Mateo: <http://cipres.sanmateo.edu.co/index.php/germina/article/view/67/57>

- Celis, J. E., Morales, J. R., Zaror, C. A., & Carvacho, O. F. (2007). *Contaminación del Aire Atmosférico por Material Particulado en una Ciudad Intermedia: El Caso de Chillán (Chile)*. Obtenido de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-07642007000300007&script=sci_arttext
- Congreso de Colombia. (2019). *Constitución Política de Colombia*. Bogotá: Documentos nacionales.
- Congreso de la república de colombia. (1989). *Decreto Ley 919*. Bogotá.
- Congreso de la república de colombia. (2012). *Decreto 1523*. Colombia.
- Congreso de la republica de colombia. (2018). *Ley 1931 del 2018*. Bogotá.
- Corponor. (5 de Junio de 2020). <https://corponor.gov.co/web/index.php/boletin-ambiental/calidad-del-aire/>. Obtenido de Calidad del Aire.
- Defensoria del pueblo. (2020). <https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/09283A00DE2FA24DC1256F3C004A6818-govcol-col-21oct4.pdf>. Obtenido de Algunos indicadores de la situación de derechos humanos en la Region del Catatumbo.
- Diaz, V. (2019). *Contaminación por material particulado en Quito y caracterización química de las muestras*. Quito: RevActaNova. vol.3 no.2 Cochabamba.
- Ecologistas en accion* . (26 de 08 de 2006). Obtenido de Ecologistas en accion : <https://www.ecologistasenaccion.org/5686/particulas-en-suspension-pm10/>
- Educación, C. A. (s.f.). *Control Automático Educación* . Obtenido de <https://controlautomaticoeducacion.com/microcontroladores-pic/comunicacion-spi/>
- El tiempo. (2020). <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/alerta-por-contaminacion-en-norte-de-santander-480202>. Obtenido de Lanzan alerta por contaminación del aire en Norte de Santander.
- Esmuelm. (15 de Enero de 2009). Obtenido de Esamuelm's Weblog : <https://esamuelm.wordpress.com/2009/01/15/%C2%BFque-es-tiempo-real/>
- Gabi, M. (5 de Septiembre de 2014). Obtenido de AMBIENTACIÓN INTERIOR Y EXTERIOR: <https://prezi.com/oelwvyyzdhhb/ambientacion-interior-y-exterior/>
- Galindo, J. (2016). *Impactos ambientales producidos por el uso de maquinaria en el sector de la construcción*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.

- Gaviria, C. (2011). *Contaminación por material particulado (pm2,5 y pm10) y consultas por enfermedades respiratorias en Medellín (2008-2009)*. Medellín: Rev. Fac. Nac. Salud Pública 2011; 29(3): 241-250.
- Gaviria, C. F., Benavides, C., & Arroyav, C. (10 de Julio de 2011). *Contaminación por material particulado (pm2,5 y pm10) y consultas por enfermedades respiratorias en Medellín (2008-2009)*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5079414>
- GeekyTheory. (2015). *Geeky Theory*. Obtenido de <https://geekytheory.com/puertos-y-buses-1-i2c-y-uart>
- Geoambietal, S. (2017 de Octubre de 2013). *Material particulado*. Obtenido de Salud Geoambiental: <https://www.saludgeoambiental.org/material-particulado>
- Gil, J. (1 de Septiembre de 2008). *¿Qué son las PM2,5 y cómo afectan a nuestra salud?* Recuperado el 18 de Octubre de 2019, de Ecologista en accion: <https://www.ecologistasenaccion.org/17842/que-son-las-pm25-y-como-afectan-a-nuestra-salud/>
- Gil, J. (1 de Septiembre de 2008). *¿Qué son las PM2,5 y cómo afectan a nuestra salud?* Obtenido de Ecologistas en acción: <https://www.ecologistasenaccion.org/17842/que-son-las-pm25-y-como-afectan-a-nuestra-salud/>
- Gómez, A. F. (2019). *Desarrollo de un prototipo para la medición de calidad del aire*. Obtenido de <https://repositorio.unisucre.edu.co/bitstream/001/949/1/T629.1326%20A775.pdf>
- Gómez, M. V. (2019). *UPB*. Obtenido de <https://www.upb.edu.co/es/blogs/upb-sostenible/contaminacion-aire>
- Greenfacts. (22 de 11 de 2019). *Contaminacion del aire particulas en suspension* . Obtenido de <https://www.greenfacts.org/es/particulas-suspension-pm/index.htm>
- Hernandez, L. J., Aristizabal, G., Quiroz, L., & Otros. (21 de Agosto de 2012). *Contaminación del aire y enfermedad respiratoria en menores de cinco años de Bogotá, 2007*. Obtenido de <https://www.scielosp.org/article/rsap/2013.v15n4/552-565/es/>
- Honeywell. (Mayo de 2019). *Honeywell.com*. Obtenido de <https://sensing.honeywell.com/honeywell-sensing-particulate-hpm-series-sell-sheet-007608.pdf>
- Honeywell. (2019). HPM Serie Particulate Matter Sensors. *Honeywell*.
- Ideam. (s.f.). Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/calidad-del-aire>

- Ideam. (Octubre de 2010). *Minambiente*. Obtenido de https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/contaminacion_atmosferica/Protocolo_Calidad_del_Aire_-_Manual_Dise%C3%B1o.pdf
- Ideam. (10 de Enero de 2014). <http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/calidad-del-aire>. Obtenido de Calidad del agua.
- Ideam. (2018). <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>. Obtenido de Manual de operaciones del sistema de vigilancia de la calidad del aire.
- Ideam. (s.f.). *Calidad del aire* . Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/calidad-del-aire>
- Ingenieria, S. (s.f.). *¿Que es un prototipo y para que sirve?* Obtenido de <https://sendekia.com/que-es-un-prototipo-y-para-que-sirve/>
- Instituto de ciencias de la tierra (CSIC), c. d. (s.f.). *Estudio y evaluación de la contaminación atmosférica por material particulado en España*. Obtenido de <https://digital.csic.es/bitstream/10261/15017/1/contaminacion.pdf>
- Instituto Nacional de Salud. (21 de Enero de 2019). <https://www.ins.gov.co/Noticias/Paginas/Informe-Carga-de-Enfermedad-Ambiental-en-Colombia.aspx>. Obtenido de Informe Carga de Enfermedad Ambiental en Colombia.
- Jesus. (s.f.). *Ardubasic* . Obtenido de <https://ardubasic.wordpress.com/2014/07/28/comunicacion-i%C2%B2c/>
- Juliana, P., & Gardey, A. (2010). *Definicion.DE*. Obtenido de <https://definicion.de/sensor/>
- La Opinión* . (4 de Marzo de 2019). Obtenido de <https://www.laopinion.com.co/ocana/zona-norte-de-ocana-la-mas-contaminada-172496>
- Lavell, A. (2001). *Sobre la Gestión de Riesgo: Apuntes hacía una definición*. 4, 1-22: Biblioteca Virtual en Salud de Desastres-OPS.
- Ledezma, M. (2019). *Análisis de las partículas en suspensión depositadas sobre vegetación arbórea en el noreste de México*. Mexico: Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas volumen 10 número 1 .
- Malvernpanalytical. (2020). <https://www.malvernpanalytical.com/es/products/product-range/mastersizer-range/mastersizer-3000e>. Obtenido de Mastersizer 3000E.
- Marmolejo, R. E. (27 de Octubre de 2017). *Hetpro*. Obtenido de <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/puerto-serial/>

- Martin, P. B. (2005). *Contaminación del aire por material particulado en la Ciudad de Buenos Aires*. Obtenido de https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/collection/tesis/document/tesis_n3931_Martin
- Minambiente. (Octubre de 2010). *Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire*. Obtenido de Manual de diseño de sistema de vigilancia de la calidad del aire : https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/contaminacion_atmosferica/Protocolo_Calidad_del_Aire_-_Manual_Dise%C3%B1o.pdf
- Minambiente. (1 de Noviembre de 2017). *Resolución No.2224*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/96-res%202254%20de%202017.pdf>
- Minambiente. (s.f.). *El ambiente es de todos*. Obtenido de <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/1801-plantilla->
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2016). *Lineamientos orientadores para la formulación y pertinencia de proyectos*. Bogotá.
- Ministerio de ambiente, v. y. (04 de 04 de 2006). *Resolucion 601*. Obtenido de <http://www.fedebiocombustibles.com/files/601.pdf>
- Ministerio de Ambiente, V. y. (24 de Marzo de 2010). *Resolucion 610*. Obtenido de <http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/bf-Resoluci%C3%B3n%20610%20de%202010%20-%20Calidad%20del%20Aire.pdf>
- Ministerio del medio ambiente. (2019). <https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/96-res%202254%20de%202017.pdf>. Obtenido de Resolución 2254 del 2017 .
- Ministerio del medio ambiente. (2019). <https://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/1801-plantilla->. Obtenido de Contaminación Atmosférica.
- Ministerior del Medio Ambiente. (2020). https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/decretos/54-dec_0948_1995.pdf. Obtenido de Decreto 948 de 1995.
- Murcia salud. (2019). <http://www.murciasalud.es/pagina.php?id=244308&idsec=1573>. Obtenido de Materia particulada (PM10 y PM2,5).
- O'Donnel, K. y. (s.f.). *Zona Economica* . Obtenido de <https://www.zonaeconomica.com/control>
- OMS. (2018). *Organización Mundial de la Salud* . Obtenido de <https://www.who.int/es/news-room/detail/02-05-2018-9-out-of-10-people-worldwide-breathe-polluted-air-but-more-countries-are-taking-action>

- ONU. (31 de Octubre de 2010). *ONU MUJERES*. Obtenido de <https://www.endvawnow.org/es/articles/330-cul-es-el-monitoreo-y-la-evaluacin.html>
- Organizacion Panamericana De La Salud. (2016). Obtenido de Organizacion Panamericana De La Salud: https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=12918:2017-ambient-air-pollution&Itemid=42246&lang=es
- Ortiz, J. C. (2018). *Estudio del material particulado de tamaño menor a 10 micras*. Obtenido de <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/15882/DF%20-%20Estudio%20del%20PM10%20en%20la%20U%20Libre%20Sede%20Candelaria%20-%20Caterine%20Caballero%20y%20Daniel%20Valencia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Porto, J., & Merino, M. (2014). *Definición.DE*. Obtenido de <https://definicion.de/dispositivo/>
- Quintero, Y. P. (2018). *Desarrollo de un prototipo portable para medición* . Obtenido de <http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/6175/Desarrollo%20de%20un%20prototipo%20portable%20para%20medici%C3%B3n%20y%20recolecta%C3%B3n%20de%20datos%20de%20emisiones%20de%20gases%20vehiculares.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Quintero-Angel, M., Carvajal-Escobar, Y., & Aldunce, P. (2011). *Adaptación a la variabilidad y el cambio climático: intersecciones con la gestión del riesgo*. Manizales: Luna Azul.
- Raffino, M. E. (9 de Diciembre de 2019). *Concepto.de*. Obtenido de <https://concepto.de/institucion/>
- Real Academia Española . (s.f.). Obtenido de Real Academia Española : <https://dej.rae.es/lema/ambiente-interior>
- República de Colombia. (2019). *Decreto 1076 de 2015*. Bogotá: Gaceta de la república.
- República de Colombia. (2019). *Ley 23 de 1973*. Bogotá: Gaceta de la república.
- Republica de Colombia. (2020). https://www.arsura.com/images/stories/documentos/res2154_2010.pdf. Obtenido de Resolución 2154 de 2010.
- Rios, R. (2020). *Ciencia Unisalle*. Obtenido de https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1279&context=ing_automatizacion
- Salle, U. d. (s.f.). *Innovacion y Tecnologia* . Obtenido de <https://www.lasalle.edu.co/wcm/connect/9502706a-23a2-4bf5-9097->

a3ab4d90e24d/innovaci%C3%B3n%20By%20Tecnolog%C3%ADa.pdf?MOD=AJPERES&CVID=IVY2h08&CVID=IVY2h08&CVID=IVY2h08&CVID=IVXZOJL

Salud, O. M. (s.f.). *Contaminación del Aire*. Obtenido de https://www.who.int/topics/air_pollution/es/

Sampieri, R. (2014). *Metodología de la Investigación*. Mexico : Mcgraw-hill / interamericana editores, s.a. de c.v.

Sedema. (2018). *Informe sobre el medio ambiente*. Mexico: Plaza de la Constitución N.º 1, tercer piso.

Serrano, S. (2020). [http://www.nortedesantander.gov.co/Portals/0/PDD%20NdS%202020-2023%20\(Ordenanza%20006%20de%202020\).pdf](http://www.nortedesantander.gov.co/Portals/0/PDD%20NdS%202020-2023%20(Ordenanza%20006%20de%202020).pdf). Obtenido de Plan de desarrollo 2020-2023.

Sostenible, M. d. (01 de 11 de 2017). *minambiente*. Obtenido de <http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/96-res%202254%20de%202017.pdf>

Suárez, C. A. (2012). *Diagnóstico y control de material particulado:PM10*. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n34/n34a12.pdf>

Suárez, V. D., & Pérez, C. P. (2006). *Contaminación por material particulado en Quito y caracterización química de las muestras*. Obtenido de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S1683-07892006000100011&script=sci_arttext

Sympatec GmbH. (s.f.). Obtenido de <https://www.sympatec.com/en/particle-measurement/sensors/laser-diffraction/>

Tiempo, E. (2 de Abril de 2020). *Lanzan alerta por contaminación del aire en Norte de Santander*. Obtenido de <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/alerta-por-contaminacion-en-norte-de-santander-480202>

Tisch. (s.f.). *PM10 High Volume Air Sampler*. Obtenido de <https://tisch-env.com/high-volume-air-sampler/pm10>

Troposfera. (s.f.). *¿Que es la calidad del aire?*. Obtenido de <http://www.troposfera.org/conceptos/calidad-aire/>

Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres - Colombia. (2013). *Guía comunitaria para la gestión del riesgo de desastres*. Bogotá.

Unidad Nacional Para La Gestión del Riesgo de Desastres - Colombia. (2015). *Plan nacional de gestión del riesgo de desastres*. Bogotá.

- Vergara Tenorio, M. d., Ellis, E. A., Cruz Aguilar, J. A., Alarcón Sánchez, L. d., & Galván del Moral, U. (2011). La conceptualización de las inundaciones y la percepción del riesgo ambiental. *Política y cultura*, (36), 45-69.
- Yepes, J., & Acero, Y. (2019). *Prototipo de Medición de Emisiones de Gas Carbónico en un Vehículo Aéreo no Tripulado (UAV) para los Alrededores de Rellenos Sanitarios*. Bogotá: Universidad distrital.

Apéndices

Apéndice A. información específica del condensador cerámico.



www.vishay.com

D Series

Vishay BCcomponents

Ceramic Singlelayer DC Disc Capacitors For General Purpose
Class 1, Class 2 and Class 3, 50 V_{DC}, 100 V_{DC}, 500 V_{DC}
**FEATURES**

- High capacitance with small size
- High reliability
- Crimp and straight leadstyles
- Material categorization:
for definitions of compliance please see
www.vishay.com/doc?99912

RoHS
COMPLIANT**APPLICATIONS**

- Temperature compensation
- Coupling and decoupling
- Bypassing

QUICK REFERENCE DATA

DESCRIPTION	VALUE							
	1		2				3	
Ceramic Class								
Ceramic Dielectric	SL0	N750	Y5P	Z5U	X7R	X5F	Y5V	Z5V
Voltage (V _{DC})	50, 100, 500	100, 500	50, 100, 500		500		50, 100, 500	50, 100
Min. Capacitance (pF)	50	6.8	100	1000	100	100	1000	4700
Max. Capacitance (pF)	100	330	10 000	22 000	4700	4700	22 000	47 000
Mounting	Radial							

MARKING

Marking indicates capacitance value and tolerance in accordance with "EIA 198" and voltage marks.

OPERATING TEMPERATURE RANGE

SL0, N750, X7R, X5F: -55 °C to +125 °C
Z5U, Z5V, Y5V: -30 °C to +125 °C

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Class 1: SL0, N750
Class 2: Y5P, Z5U, X7R, X5F
Class 3: Y5V, Z5V

SECTIONAL SPECIFICATIONS

Climatic category (acc. to EN 60058-1)
Class 1 and 2: 55/125/21
Class 3: 30/85/21

APPROVALS

EIA 198
IEC 60384-8
IEC 60384-9

CAPACITANCE RANGE

6.8 pF to 47 nF

TOLERANCE ON CAPACITANCE

± 2 %, ± 5 %, ± 10 %, ± 20 %, +80 %/-20 %

RATED VOLTAGE50 V_{DC}, 100 V_{DC}, 500 V_{DC}**TEST VOLTAGE**

250 % of rated voltage

INSULATION RESISTANCE AT RATED VOLTAGE

10 GΩ min.

DISSIPATION FACTOR

Class 1 0.1 % max. when C ≥ 30 pF
(at 1 MHz; 1 V where C ≤ 1000 pF, and at
1 kHz; 1 V where C > 1000 pF)
For C < 30 pF: DF = 100/(400 + 20 x C)
DF = dissipation factor in %;
C = capacitance value in pF

Class 2 2.5 % max. (at 1 kHz; 1 V)

Class 3 5 % max. (at 1 kHz; 1 V)

Revision: 09-May-14

1

Document Number: 28549

For technical questions, contact: cdc@vishay.com

THIS DOCUMENT IS SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE. THE PRODUCTS DESCRIBED HEREIN AND THIS DOCUMENT
ARE SUBJECT TO SPECIFIC DISCLAIMERS, SET FORTH AT www.vishay.com/doc?91000

Apéndice B. información específica del condensador electrolítico.

ALUMINUM ELECTROLYTIC CAPACITORS

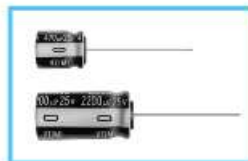


VZ Wide Temperature Range series



Environmental Fanless Design (EFD)

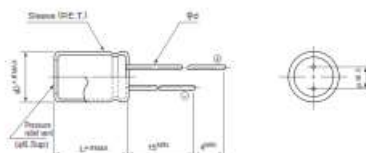
- Small case sizes as same as VR series, but operating over wide temperature range of -55 to +105°C.
- Compliant to the RoHS directive (2011/65/EU).



■ Specifications

Item	Performance Characteristics
Category Temperature Range	-55 to +105°C (6.3 to 100V), -40 to +105°C (100 to 400V), -25 to +105°C (450V)
Rated Voltage Range	6.3 to 450V
Rated Capacitance Range	0.1 to 33000µF
Capacitance Tolerance	±20% at 120Hz, 20°C
Leakage Current	Rated voltage (V) 0.3 to 100 150 to 450
	After 1 minute's application of rated voltage at 20°C, leakage current is not more than 0.03CV or 4 (µA), whichever is greater. After 2 minutes application of rated voltage at 20°C, leakage current is not more than 0.01CV or 3 (µA), whichever is greater.
Tangent of loss angle (tan δ)	For capacitance of more than 1000µF, add 0.02 for every increase of 1000µF. Measurement frequency: 120Hz at 20°C
	Rated voltage (V) 6.3 10 16 25 35 50 63 100 100 to 200/200 to 300 400 450 tan δ (MAX.) 0.28 0.24 0.20 0.16 0.14 0.12 0.10 0.08 0.20 0.25
Stability at Low Temperature	Impedance ratio Z/-25°C / Z/+20°C 5 4 3 2 2 2 2 2 3 4 6 15 Z/-40°C / Z/+20°C 10 8 6 4 3 3 3 3 4 8 10 —
	Measurement frequency: 120Hz
Endurance	The specifications listed at right shall be met when the capacitors are restored to 20°C after the rated voltage is applied for 1000 hours at 105°C.
	Capacitance change: Within ±20% of the initial capacitance value tan δ: 200% or less than the initial specified value Leakage current: Less than or equal to the initial specified value
Shelf Life	After storing the capacitors under no load at 105°C for 1000 hours and then performing voltage treatment based on JIS C 5101-4 clause 4.1 at 20°C, they shall meet the specified values for the endurance characteristics listed above.
Marking	Printed with white color letter on black sleeve.

■ Radial Lead Type

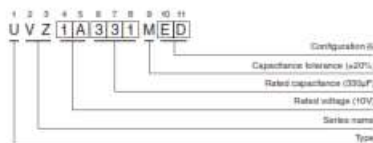


	6.3	10	16	25	35	50	63	100	100 to 200/200 to 300	400	450
φD	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
φd	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
L	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

φt	1.5
φt	2.2

• Please refer to page 20 about the end seal configuration.

Type numbering system (Example : 10V 330µF)



Configuration	Type
φ D	Ro-free leadless, Ro-free PET sleeve
5	CO
6.3	EO
8 to 18	FO
12.5 to 18	HO
25 to 25	RO

Please refer to page 20, 21, 22 about the formed or taped product spec.
Please refer to page 4 for the minimum order quantity.

• Dimension table in next page.

CAT.8100D

Apéndice C. Información específica del cristal.

Quartz Crystals

TXC

DIP HC-49S 9B SERIES



Features

- > Resistance welded type crystal units.
- > A great number of standard frequencies.
- > Higher frequency pullability and lower equivalent series resistance.
- > Lower cost and highly mass production capability.
- > The best choice of TV, STB, LCDM and Cable Modem.
- > RoHS Compliant / Pb Free

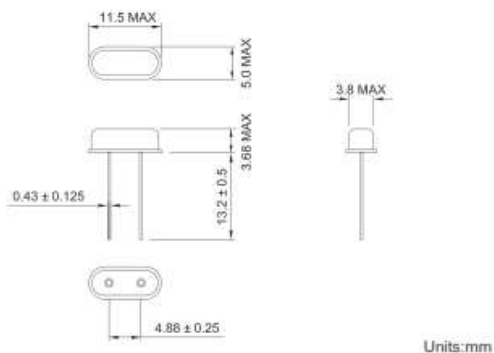
Electrical Specifications

Item / Type	9B
Frequency Range	3.2 – 90 MHz
Frequency Tolerance (at 25 °C)	± 30 ppm, or specify
Frequency Stability Over Operating Temperature Range	± 30 ppm (-20 – +70 °C), or specify
Operating Temperature Range	-20 – +70 °C
Shunt Capacitance (C0)	7 pF Max.
Drive Level	1 – 500 µW (100 µW typical)
Load Capacitance	10 pF, or specify
Aging (at 25 °C)	± 3 ppm / year Max.
Storage Temperature Range	-40 – +55 °C

Equivalent Series Resistance(ESR)

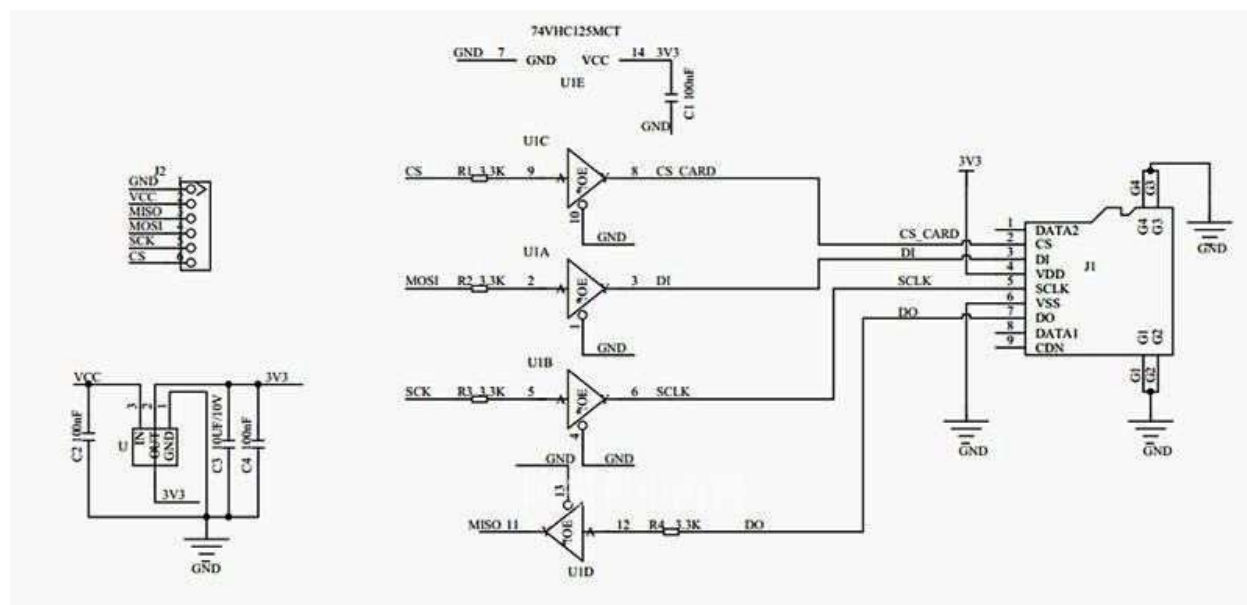
Fundamental		3rd Overtone	
3.2 – 3.600 MHz	200 Ω Max.	27 – 30 MHz	100 Ω Max.
3.600 – 5 MHz	150 Ω Max.	30 – 50 MHz	80 Ω Max.
5 – 10 MHz	80 Ω Max.	50 – 90 MHz	60 Ω Max.
10 – 14 MHz	40 Ω Max.		
14 – 30 MHz	30 Ω Max.		

Dimensions



Remark: Specifications subject to change without prior notice. Please confirm with our sales.

Apéndice D. Información específica del diagrama Modulo MicroSD.



CATALEX		
TITLE: MicroSD Card Adapter		
Design: Fred.Chu	Check:	
Date: 07/12/2013	Vision: v0.9b	Sheet: 1/1

Apéndice E. información específica del HPM A115S0.

Honeywell
THE POWER OF CONNECTED

HPM Series Particle Sensor

32322550
Issue E



FEATURES

- Laser-based light scattering particle sensing
- Concentration range: 0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ to 1,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Fully calibrated
- EMC: Heavy industrial level IEC61000
- Response time: <6 s
- Supply current: 80 mA max.
- Output signal: UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter)
- PM2.5 output (PM10 output optional)
- RoHS compliant
- REACH compliant

DESCRIPTION

The Honeywell HPM Series Particle Sensor is a laser-based sensor which uses the light scattering method to detect and count particles in the concentration range of 0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ to 1,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in a given environment. A laser light source illuminates a particle as it is pulled through the detection chamber. As particles pass through the laser beam, the light source becomes obscured and is recorded on the photo or light detector. The light is then analyzed and converted to an electrical signal to calculate concentrations in real time. The Honeywell particle sensor provides information on the particle concentration for given particle concentration range.

VALUE TO CUSTOMERS

- Enables the ability to more accurately and cost-effectively monitor or control environmental particulate
- Industry-leading long life of 20,000 hours of continuous use essentially equates to seven years of product life (based on up to eight hours of operation per day)
- Proven EMC performance enables the ability to perform more accurately in a variety of tough industrial environments
- Ultra-fast response time of <6 s allows the HPM Series to respond to environmental conditions in real time
- Enhanced reliability allows for use in harsh environments

DIFFERENTIATION

- Industry-leading long life of 20,000 hours provides stable operation and continuous use
- Proven EMC performance, based on IEC61000 stable operation, $\pm 15\%$ accuracy

Sensing and Internet of Things

POTENTIAL INDUSTRIAL APPLICATIONS

- HVAC:
 - Air conditioners
 - Air quality monitors
 - Environmental monitoring
- Consumer products:
 - Air cleaners
 - Air conditioners
 - Air purifiers
 - Car air cleaners
 - Handheld air quality detectors

Particle Sensor HPM Series

Table 1. Specifications

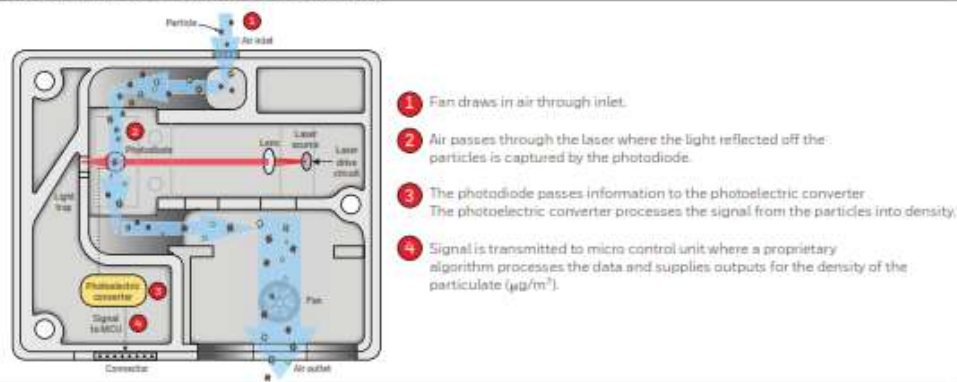
Characteristic	Parameter
Operating principle	laser scattering
Detection ^{1,2}	PM2.5 and PM10
Output data ^{1,2}	PM2.5 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and PM10 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Concentration range	0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ to 1,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Accuracy (at 25°C \pm 5°C): 0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ to 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ to 1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	\pm 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ \pm 15 %
Response time	<6 s
Supply voltage	5 V \pm 0.2 V
Standby current (at 25°C \pm 5°C)	<20 mA
Supply current (at 25°C \pm 5°C)	<80 mA
Temperature: operating storage	-10°C to 50°C [-14°F to 122°F] -30°C to 65°C [-22°F to 149°F]
Humidity (operating and storage)	0 %RH to 95 %RH non-condensing
Output protocol ³	UART; baud rate: 9600, databits: 8, stopbits: 1, parity: no
Operating time: continuous mode intermittent mode	20,000 hr depends on duty cycle
Laser class	Laser Class 1: IEC/EN 60825-1: 650 nm
ESD	\pm 4 kV contact, \pm 8 kV air per IEC 61000-4-2
Radiated immunity	1 V/m (80 MHz to 1000 MHz) per IEC 61000-4-3
Fast transient burst	\pm 0.5 kV per IEC61000-4-4
Immunity to conducted disturbances radiated emissions	3 V per IEC61000-4-6
Radiated emissions	40 dB 30 MHz to 230 MHz; 47 dB 230 MHz to 1000 MHz per CISPR 14
Conducted emissions	0.15 MHz to 30 MHz in compliance with CISPR 14

¹ PM2.5 is particulate matter \leq 2.5 μm in diameter; PM10 is particulate matter \leq 10 μm in diameter.

² PM10 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ is calculated from PM 2.5 readings.

³ Contact Honeywell for other output options.

**CLASS 1
LASER PRODUCT**

Figure 1. HPM Series Operation (Top Down View)


Apéndice F. información específica del Microcontrollers.



ATmega328P

**8-bit AVR Microcontroller with 32K Bytes In-System
Programmable Flash**

DATASHEET

Features

- High performance, low power AVR® 8-bit microcontroller
- Advanced RISC architecture
 - 131 powerful instructions – most single clock cycle execution
 - 32 × 8 general purpose working registers
 - Fully static operation
 - Up to 16MIPS throughput at 16MHz
 - On-chip 2-cycle multiplier
- High endurance non-volatile memory segments
 - 32K bytes of in-system self-programmable flash program memory
 - 1Kbytes EEPROM
 - 2Kbytes internal SRAM
 - Write/erase cycles: 10,000 flash/100,000 EEPROM
 - Optional boot code section with independent lock bits
 - In-system programming by on-chip boot program
 - True read-while-write operation
 - Programming lock for software security
- Peripheral features
 - Two 8-bit Timer/Counters with separate prescaler and compare mode
 - One 16-bit Timer/Counter with separate prescaler, compare mode, and capture mode
 - Real time counter with separate oscillator
 - Six PWM channels
 - 8-channel 10-bit ADC in TQFP and QFN/MLF package
 - Temperature measurement
 - Programmable serial USART
 - Master/slave SPI serial interface
 - Byte-oriented 2-wire serial interface (Philips I²C compatible)
 - Programmable watchdog timer with separate on-chip oscillator
 - On-chip analog comparator
 - Interrupt and wake-up on pin change
- Special microcontroller features
 - Power-on reset and programmable brown-out detection
 - Internal calibrated oscillator
 - External and internal interrupt sources
 - Six sleep modes: Idle, ADC noise reduction, power-save, power-down, standby, and extended standby

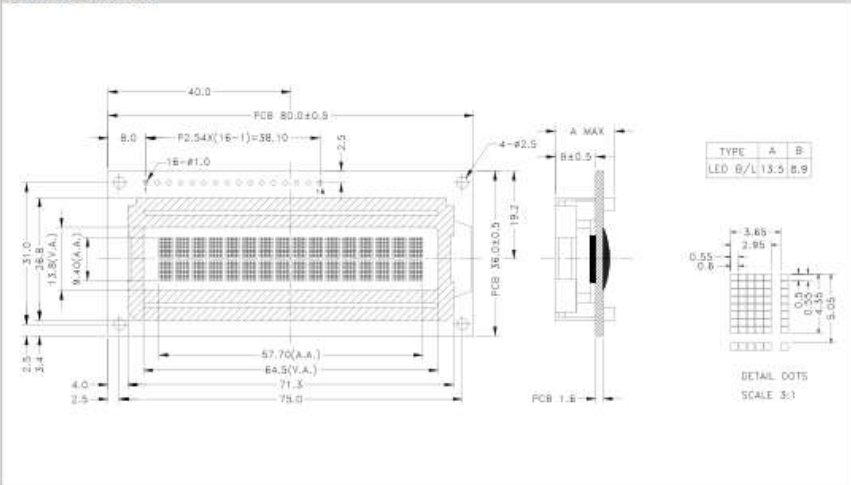
- I/O and packages
 - 23 programmable I/O lines
 - 32-lead TQFP, and 32-pad QFN/MLF
- Operating voltage:
 - 2.7V to 5.5V for ATmega328P
- Temperature range:
 - Automotive temperature range: -40°C to $+125^{\circ}\text{C}$
- Speed grade:
 - 0 to 8MHz at 2.7 to 5.5V (automotive temperature range: -40°C to $+125^{\circ}\text{C}$)
 - 0 to 16MHz at 4.5 to 5.5V (automotive temperature range: -40°C to $+125^{\circ}\text{C}$)
- Low power consumption
 - Active mode: 1.5mA at 3V - 4MHz
 - Power-down mode: 1 μA at 3V

Apéndice G. información específica del Pantalla LCD.



TC1602A-09T

Outline Dimension



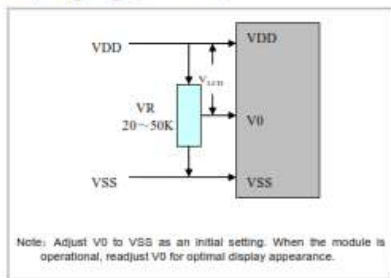
Feature:

1. 16X2 Characters
2. STN/TRANSMISSIVE/NEGATIVE/BLUE
3. White/side-light (LED)
4. Operating Temp.: -10°C ~ +60°C
5. 1/16 duty cycle, 1/5 Bias
6. Built-in Controller (SPLC780D1 or equivalent)
7. Viewing angle: 6 o'clock

Absolute Maximum Rating:

Item	Symbol	Standard value		Unit
		M _{IN}	T _{VR} M _{AX}	
Power supply for logic	V _{DD} -V _{SS}	-0.3	7.0	V
Input voltage	V _I	-0.3	V _{DD} +0.3	V

Adjusting Display Contrast:



Electrical Characteristic:

Character Type

(V_{SS}=0V, T_a = 25°C)

Parameter	Symbol	Condition	M _{IN}	T _{VR}	M _{AX}	Unit
Supply voltage for logic	V _{DD}	--	4.8	5.0	5.2	V
Supply current for logic	I _{DD}	--	1.5	--	--	mA
Operating voltage for LCD	V _{LCD}	-10°C	--	--	--	V
		+25°C	--	5.0	--	V
		+60°C	--	--	--	V
Supply voltage for Backlight	V _{BL}	--	--	5.0	--	V
Supply current for Backlight	I _{BL}	--	--	15	--	mA

Interface Pin Connections:

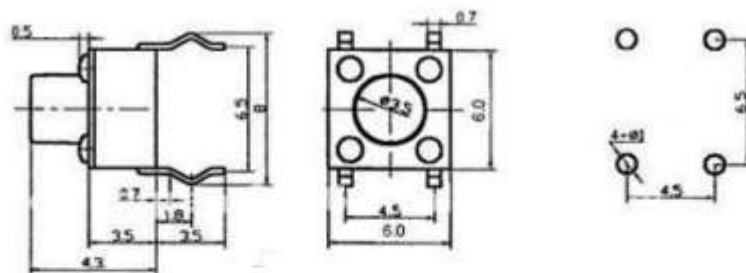
Pin No.	Symbol	Level	Description
1	VSS	0V	Ground
2	VDD	+5.0V	Supply voltage for logic operating.
3	V0	--	Adjusting voltage for LCD driving (variable).
4	RS	HL	A signal for selecting registers: 1: Data Register (for read and write) 0: Instruction Register (for write), Busy flag-Address Counter (for read).
5	R/W	HL	R/W = "1": Read mode. R/W = "0": Write mode.
6	E	HL	An enable signal for writing or reading data.
7-14	DB0-DB7	HL	8-bit bi-directional data bus.
15	LED+	+5.0V	Power supply for Backlight
16	LED-	0V	The backlight ground

Apéndice H. información específica del pulsador.

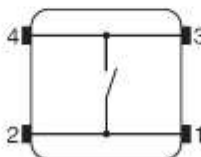
SW-761



Climate Grade:	25/070/04
Rated Values:	0.05A/30V DC
Contact Resistance:	$\leq 30m\Omega$
Dielectric Strength:	250V.AC
Insulation Resistance:	$\geq 100M\Omega$
Operating Force:	1-2.5N
Life:	100000Times
Operating Travel:	0.25mm



Terminal Arrangement/Internal Connections (Top View)



Apéndice I. información específica del Reloj De Tiempo Real.

DS3231

Extremely Accurate I²C-Integrated
RTC/TCXO/Crystal

General Description

The DS3231 is a low-cost, extremely accurate I²C real-time clock (RTC) with an integrated temperature-compensated crystal oscillator (TCXO) and crystal. The device incorporates a battery input, and maintains accurate timekeeping when main power to the device is interrupted. The integration of the crystal resonator enhances the long-term accuracy of the device as well as reduces the piece-part count in a manufacturing line. The DS3231 is available in commercial and industrial temperature ranges, and is offered in a 16-pin, 300-mil SO package.

The RTC maintains seconds, minutes, hours, day, date, month, and year information. The date at the end of the month is automatically adjusted for months with fewer than 31 days, including corrections for leap year. The clock operates in either the 24-hour or 12-hour format with an AM/PM indicator. Two programmable time-of-day alarms and a programmable square-wave output are provided. Address and data are transferred serially through an I²C bidirectional bus.

A precision temperature-compensated voltage reference and comparator circuit monitors the status of V_{CC} to detect power failures, to provide a reset output, and to automatically switch to the backup supply when necessary. Additionally, the RST pin is monitored as a pushbutton input for generating a μ P reset.

Benefits and Features

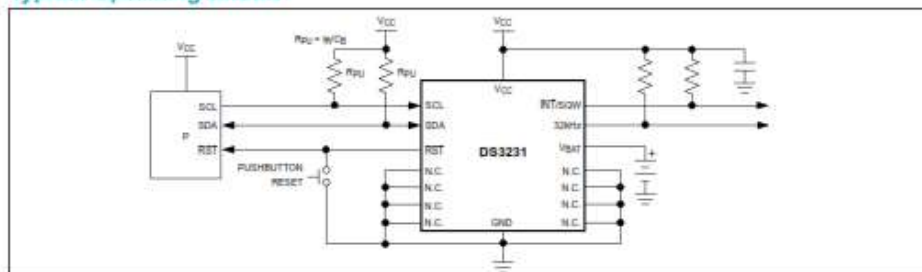
- Highly Accurate RTC Completely Manages All Timekeeping Functions
 - Real-Time Clock Counts Seconds, Minutes, Hours, Date of the Month, Month, Day of the Week, and Year, with Leap-Year Compensation Valid Up to 2100
 - Accuracy ± 2 ppm from 0°C to +40°C
 - Accuracy ± 3.5 ppm from -40°C to +85°C
 - Digital Temp Sensor Output: $\pm 3^\circ\text{C}$ Accuracy
 - Register for Aging Trim
 - RST Output/Pushbutton Reset Debounce Input
 - Two Time-of-Day Alarms
 - Programmable Square-Wave Output Signal
- Simple Serial Interface Connects to Most Microcontrollers
 - Fast (400kHz) I²C Interface
- Battery-Backup Input for Continuous Timekeeping
 - Low Power Operation Extends Battery-Backup Run Time
 - 3.3V Operation
- Operating Temperature Ranges: Commercial (0°C to +70°C) and Industrial (-40°C to +85°C)
- Underwriters Laboratories® (UL) Recognized

Applications

- Servers
- Telematics
- Utility Power Meters
- GPS

Ordering Information and Pin Configuration appear at end of data sheet.

Typical Operating Circuit



Underwriters Laboratories is a registered certification mark of Underwriters Laboratories Inc.

DS3231

Extremely Accurate I²C-Integrated
RTC/TCXO/Crystal

Absolute Maximum Ratings

Voltage Range on Any Pin Relative to Ground-0.3V to +6.0V
 Junction-to-Ambient Thermal Resistance (θ_{JA}) (Note 1) 73°C/W
 Junction-to-Case Thermal Resistance (θ_{JC}) (Note 1)23°C/W
 Operating Temperature Range
 DS3231S0°C to +70°C
 DS3231SN-40°C to +85°C

Junction Temperature+125°C
 Storage Temperature Range-40°C to +85°C
 Lead Temperature (soldering, 10s)+260°C
 Soldering Temperature (reflow, 2 times max)+260°C
 (see the *Handling, PCB Layout, and Assembly* section)

Note 1: Package thermal resistances were obtained using the method described in JEDEC specification JESD51-7, using a four-layer board. For detailed information on package thermal considerations, refer to www.maximintegrated.com/thermal-tutorial.

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

Recommended Operating Conditions

($T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX} , unless otherwise noted.) (Notes 2, 3)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Supply Voltage	V_{CC}		2.3	3.3	5.5	V
	V_{BAT}		2.3	3.0	5.5	V
Logic 1 Input SDA, SCL	V_{IH}		0.7 x V_{CC}		$V_{CC} + 0.3$	V
Logic 0 Input SDA, SCL	V_{IL}		-0.3		0.3 x V_{CC}	V

Electrical Characteristics

($V_{CC} = 2.3V$ to $5.5V$, V_{CC} = Active Supply (see Table 1), $T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX} , unless otherwise noted.) (Typical values are at $V_{CC} = 3.3V$, $V_{BAT} = 3.0V$, and $T_A = +25^\circ C$, unless otherwise noted.) (Notes 2, 3)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Active Supply Current	I_{CCA}	(Notes 4, 5)	$V_{CC} = 3.63V$		200	μA
			$V_{CC} = 5.5V$		300	
Standby Supply Current	I_{CCS}	I ² C bus inactive, 32kHz output on, SQW output off (Note 5)	$V_{CC} = 3.63V$		110	μA
			$V_{CC} = 5.5V$		170	
Temperature Conversion Current	$I_{CCSCONV}$	I ² C bus inactive, 32kHz output on, SQW output off	$V_{CC} = 3.63V$		575	μA
			$V_{CC} = 5.5V$		650	
Power-Fail Voltage	V_{PF}		2.45	2.575	2.70	V
Logic 0 Output, 32kHz, INT/SQW, SDA	V_{OL}	$I_{OL} = 3mA$			0.4	V
Logic 0 Output, RST	V_{OL}	$I_{OL} = 1mA$			0.4	V
Output Leakage Current 32kHz, INT/SQW, SDA	I_{LO}	Output high impedance	-1	0	+1	μA
Input Leakage SCL	I_{LI}		-1		+1	μA
RST Pin I/O Leakage	I_{OL}	RST high impedance (Note 6)	-200		+10	μA
V_{BAT} Leakage Current (V_{CC} Active)	I_{BATLKG}			25	100	nA

DS3231

Extremely Accurate I²C-Integrated
RTC/TCXO/Crystal**Electrical Characteristics (continued)**(V_{CC} = 2.3V to 5.5V, V_{CC} = Active Supply (see Table 1), T_A = T_{MIN} to T_{MAX}, unless otherwise noted.) (Typical values are at V_{CC} = 3.3V, V_{BAT} = 3.0V, and T_A = +25°C, unless otherwise noted.) (Notes 2, 3)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Output Frequency	f _{OUT}	V _{CC} = 3.3V or V _{BAT} = 3.3V		32.768		kHz
Frequency Stability vs. Temperature (Commercial)	Δf/f _{OUT}	V _{CC} = 3.3V or V _{BAT} = 3.3V, aging offset = 00h	0°C to +40°C		±2	ppm
			>40°C to +70°C		±3.5	
Frequency Stability vs. Temperature (Industrial)	Δf/f _{OUT}	V _{CC} = 3.3V or V _{BAT} = 3.3V, aging offset = 00h	-40°C to <0°C		±3.5	ppm
			0°C to +40°C		±2	
			>40°C to +85°C		±3.5	
Frequency Stability vs. Voltage	Δf/V			1		ppm/V
Trim Register Frequency Sensitivity per LSB	Δf/LSB	Specified at:	-40°C		0.7	ppm
			+25°C		0.1	
			+70°C		0.4	
			+85°C		0.8	
Temperature Accuracy	Temp	V _{CC} = 3.3V or V _{BAT} = 3.3V	-3		+3	°C
Crystal Aging	Δf/f _O	After reflow, not production tested	First year		±1.0	ppm
			0–10 years		±5.0	

Electrical Characteristics(V_{CC} = 0V, V_{BAT} = 2.3V to 5.5V, T_A = T_{MIN} to T_{MAX}, unless otherwise noted.) (Note 2)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Active Battery Current	I _{BATA}	EOSC = 0, BBSQW = 0, SCL = 400kHz (Note 5)	V _{BAT} = 3.63V		70	μA
			V _{BAT} = 5.5V		150	
Timekeeping Battery Current	I _{BATT}	EOSC = 0, BBSQW = 0, EN32kHz = 1, SCL = SDA = 0V or SCL = SDA = V _{BAT} (Note 5)	V _{BAT} = 3.63V	0.84	3.0	μA
			V _{BAT} = 5.5V	1.0	3.5	
Temperature Conversion Current	I _{BATTCC}	EOSC = 0, BBSQW = 0, SCL = SDA = 0V or SCL = SDA = V _{BAT}	V _{BAT} = 3.63V		575	μA
			V _{BAT} = 5.5V		650	
Data-Retention Current	I _{BATTDR}	EOSC = 1, SCL = SDA = 0V, +25°C			100	nA

Apéndice J. información específica del Trimmer.

Trimmer Potentiometer**multicomp****Features:**

- 9mm Square Multi-turn
- Cermet / Industrial / Sealed
- 5 Terminals types (W / X / P / Y / Z)
- Available with a knob for finger adjust

Specifications:**Electrical Characteristics**

Standard Resistance Range	: 1,000Ω to 1,000,000Ω
Resistance Tolerance	: 10% std.
Absolute Min. Resistance	: 1% or 2Ω max. (Whichever is greater)
Contact Resistance Variation	: 3% or 3Ω max. (Whichever is greater)
Adjust ability	: Voltage 0.01% Resistance 0.05%

Resolution	: Infinite
Insulation Resistance	: 500V DC 1,000mΩ min.
Dielectric Strength	: 101.3 kPa 600V AC 8.5 kPa 360V AC
Effective Travel	: 25 turns nom

Environmental Characteristics

Power Rating (300 volts max.)	: 0.5 watt (70°C) , 0 watt (125°C)
Temperature Range	: -55°C to +125°C
Temperature Coefficient	: ±100ppm/°C
Vibration	: 98 m/s ² (1% TR; 1% VR)
Shock	: 390 m/s ² (1% TR; 1% VR)
Load Life	: 1,000 hours 0.5 watt @ 70°C (3% TR; 4% or 4Ω, whichever is greater , CRV)
Rotational Life	: 200 cycles (3% TR; 4% or 4Ω)

Physical Characteristics

Torque	: 36mN max.
Mechanical Stops	: Wiper idles
Terminals	: Solderable pins
Standard Packaging	: 50pcs. per tube

Standard Resistance Table:

Resistance Ohms	Resistance Code	Resistance Ohms	Resistance Code
1,000	102	25,000	253
10,000	103	5,000	502
100,000	104	50,000	503
1,000,000	105	500,000	504

multicomp

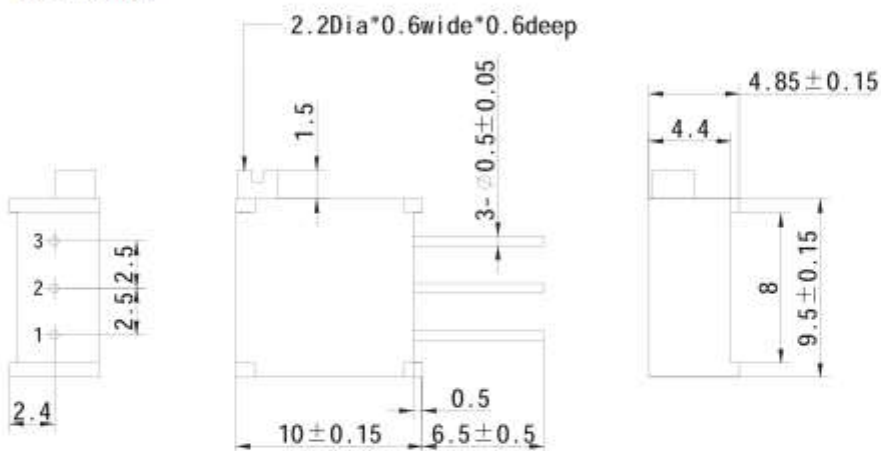
Trimmer Potentiometer



Diagram:



Dimensions:



Dimensions : Millimetres
Tolerances: ± 0.25 Except Where Noted.

Part Number Table

Description	Part Number
Trimmer, Potentiometer, 1k Ω , 25 Turn	MCWIW1029-X-102-LF
Trimmer, Potentiometer, 10k Ω , 25 Turn	MCWIW1029-X-103-LF
Trimmer, Potentiometer, 100k Ω , 25 Turn	MCWIW1029-X-104-LF
Trimmer, Potentiometer, 1m Ω , 25 Turn	MCWIW1029-X-105-LF
Trimmer, Potentiometer, 25k Ω , 25 Turn	MCWIW1029-X-253-LF
Trimmer, Potentiometer, 5k Ω , 25 Turn	MCWIW1029-X-502-LF
Trimmer, Potentiometer, 50k Ω , 25 Turn	MCWIW1029-X-503-LF
Trimmer, Potentiometer, 500k Ω , 25 Turn	MCWIW1029-X-504-LF

Important Notice : This data sheet and its contents (the "Information") belong to the members of the Premier Farnell group of companies (the "Group") or are licensed to it. No license is granted for the use of it other than for information purposes in connection with the products to which it relates. No license of any intellectual property rights is granted. The information is subject to change without notice and replaces all data sheets previously supplied. The information supplied is believed to be accurate but the Group accepts no responsibility for its accuracy or completeness, any error in or omission from it or for any use made of it. Users of this data sheet should check for themselves the information and the suitability of the products for their purpose and not make any assumptions based on information included or omitted. Liability for loss or damage resulting from any reliance on the information or use of it (including liability resulting from negligence or where the Group was aware of the possibility of such loss or damage arising) is excluded. This will not operate to limit or restrict the Group's liability for death or personal injury resulting from its negligence. Multicomp is the registered trademark of the Group. © Premier Farnell plc 2012.

