



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE
VALPARAÍSO



Carlos Andrés Ortega Núñez

Estación de monitoreo de calidad del aire para sectores mineros

Informe Proyecto de Título de Ingeniero Electrónico



**Escuela de Ingeniería Eléctrica
Facultad de Ingeniería**

Valparaíso, 27 de febrero de 2018



Estación de monitoreo de calidad del aire para sectores mineros

Carlos Andrés Ortega Núñez

Informe Final para optar al título de Ingeniero Electrónico,
aprobada por la comisión de la
Escuela de Ingeniería Eléctrica de la
Facultad de Ingeniería de la
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
conformada por

Sr. Rodrigo Olgún Concha
Profesor Guía

Sr. Francisco Pizarro Torres
Segundo Revisor

Sr. Sebastián Fingerhuth Massmann
Secretario Académico

Valparaíso, 27 de febrero de 2018

*Para mi hijo Fernando Ortega y mi pareja Constanza Riquelme,
quienes día a día me entregan su amor y alegría.*

*Para mi familia; Gabriela Núñez, Cathrina Ortega y Viera Ortega
quienes estuvieron en cada momento apoyándome para poder alcanzar
mis objetivos.*

*Para mis abuelos; Rosa Encina y Jorge Manríquez, los que siempre
tuvieron las palabras indicadas.*

*Para mi hermano de la vida Matías Sánchez, quien a pesar de la
distancia, siempre estuvo presente.*

*Finalmente, para aquellos que de una u otra forma fueron parte de este
proceso como Camilo González, César Ortiz, Carlos Montoya, Daniel Contreras y
Santiago Quiroz.*

Gracias a todos.

Agradecimientos

Llegando a los momentos finales de mi vida universitaria, y habiéndose cruzado con una innumerable cantidad de gente a lo largo de este proceso académico, se hace difícil mencionar a todas y cada una de las personas que aportaron a que este proyecto llegase a buen puerto.

Quiero en primer lugar agradecer a mi familia quien me apoyó en cada una de las decisiones tomadas, ayudándome salir de mi ciudad natal para venir a estudiar donde creí fielmente que era el mejor lugar para cumplir mis sueños y objetivos.

En segundo lugar me gustaría agradecer a mis amigos, quienes siempre tuvieron un momento para compartir conmigo, tanto dentro del aula como fuera de ella. Momentos inolvidables quedan en mi mente gracias a ustedes.

También quiero destacar y recordar todo el conocimiento que adquirí gracias a un gran amigo, César Ortiz, quien me apoyo en cada uno de los proyectos personales y universitarios.

Finalmente quiero agradecer a todos los docentes y compañeros que aportaron en mi formación como profesional, ya que, gracias a ellos he adquirido los conocimientos necesarios que me han impulsado hasta estas instancias.

Valparaíso, 27 de febrero de 2018

C.O.

Resumen

El presente proyecto, tiene por finalidad el desarrollo de un sistema electrónico que contribuya a la seguridad de miles de personas que trabajan en la minería y se ven expuestas a las complejas condiciones ambientales producidas por los procesos de extracción del mineral.

Actualmente, existen algunos dispositivos que buscan ayudar a las personas tanto en la minería como en las mismas ciudades. Sin embargo, la mayoría están enfocados a la medición del material particulado en los tiempos que indica la normativa. El presente sistema, tiene la capacidad de medir el material particulado en lapsos cortos de tiempo.

El sistema desarrollado posee sensores de viento, temperatura, humedad, entre otros, con los cuales se genera una base de datos para que las personas a cargo puedan tomar medidas. De igual manera, el sistema tendrá una alarma visual para que los trabajadores estén al tanto de las condiciones en las que se encuentran trabajando y puedan tomar medidas al alcance de su mano, como: ponerse la mascarilla respiratoria. La finalidad de este sistema es proteger a los trabajadores de la industria minera para que – en un futuro – no se vean afectados por las diversas enfermedades de tipo respiratoria.

Minera Spence, es una minera ubicada entre Calama y Antofagasta, la cual se interesó en la estación de monitoreo para que fuese instalada en su faena. A su vez, realizó la solicitud de que se agregara un testigo (donde se almacene una muestra del material particulado muestreado) para que ellos pudieran hacer análisis del material particulado que se encuentra midiendo la estación de monitoreo. También, solicitaron utilizar la interfaz Web que ellos poseen para visualizar ciertos equipos en terreno.

En el capítulo 1 se presentará la problemática en los sectores mineros, enfermedades que se puedan manifestar, la solución propuesta y los objetivos de esta. Posteriormente, en el capítulo 2 se eligen los materiales a utilizar, lo que permite – en el capítulo 3 – presentar el diseño de la propuesta y la conexión de los sensores. Luego, en el capítulo 4 se verá el procesamiento e importancia de la base de datos y cómo esta se comunica con la interfaz Web. Finalmente, en el capítulo 5 se podrán apreciar imágenes de la estación de monitoreo armada y las pruebas realizadas.

Palabras claves: Minería, Spence, material particulado, normativa, enfermedades respiratorias.

Abstract

The purpose of this project is to develop an electronic system that contributes to the safety of thousands of people who work in mining and are exposed to the complex environmental conditions produced by the mining processes.

Currently, there are some devices that seek to help people both in mining and in the cities themselves. However, most are focused on the measurement of particulate material at the times indicated in the regulations. The present system, has the capacity to measure the particulate material are present in a large part of the processes of extraction of minerals and in the treatment of these in short periods of time.

The developed system has sensors of wind, temperature, humidity, among others, with which a database is generated so that the people in charge can take measures. In the same way, the system will have a visual alarm so that the workers are aware of the conditions in which they are working and can take measures at their fingertips, such as: putting on the respiratory mask. The purpose of this system is to protect workers in the mining industry so that - in the future - they are not affected by the various respiratory diseases.

Minera Spence, is a mining company located between Calama and Antofagasta, which was interested in the monitoring station to be installed in its work. At the same time, he made the request that a witness be added (where a sample of the particulate material sampled is stored) so that they could make an analysis of the particulate material that is measuring the monitoring station. Also, they requested to use the Web interface they have to visualize certain equipment in the field.

Chapter 1 will present the problems in the mining sectors, diseases that may occur, the proposed solution and the objectives of this. Subsequently, in chapter 2 the materials to be used are chosen, which allows - in chapter 3 - to present the design of the proposal and the connection of the sensors. Then, in chapter 4 will present the processing and importance of the database and how it communicates with the Web interface. Finally, in chapter 5 you can see images of the armed monitoring station and the tests carried out.

Keywords: Mining, Spence, particulate matter, regulations, respiratory diseases.

Índice general

Introducción.....	1
1 Antecedentes generales.....	2
1.1 Descripción detallada del problema.	2
1.1.1 La importancia de la exposición al sílice en Chile.....	2
1.1.2 Enfermedades producidas.....	6
1.1.3 Soluciones actuales	10
1.2 Estado del arte.....	15
1.3 Solución propuesta.....	16
1.4 Objetivos.....	17
1.4.1 Objetivo General.....	17
1.4.2 Objetivos Especificos	17
2 Selección de componentes	18
2.1 Sistemas de medidas	18
2.1.1 Sensor de material particulado	18
2.1.2 Sensor de temperatura y humedad.....	21
2.1.3 Sensor de presión	25
2.1.4 Sensor de velocidad y dirección de viento	26
2.1.5 Sensor de posición	28
2.2 Datalogger	29
2.2.1 Microcontroladores.....	30
2.2.2 Computadores embebidos	32
2.3 Routers industriales.....	35
3 Diseño de la propuesta.....	37
3.1.1 Sensor de material particulado OPC-N2	39
3.1.2 Sensor de humedad y temperatura SHT10	40
3.1.3 Sensor de presión BMP180	41
3.1.4 Sensor de posicionamiento GroveGPS.....	42
3.1.5 Sensor de velocidad y posición de viento ADCON	42
3.1.6 Diagrama de conexión	43

4 Procesamiento y base de datos	45
4.1 Procesamiento de datos	45
4.1.1 Muestreo	47
4.1.2 Técnicas de muestreo	48
4.1.3 Adquisición y Análisis de Datos.	51
4.1.4 Procesamiento y almacenamiento de datos	54
4.2 Normalización de datos	56
4.3 Base de datos	58
4.3.1 Aplicación en la estación de monitoreo	60
5 Construcción y pruebas	66
5.1 Construcción	66
5.2 Pruebas realizadas	69
5.2.1 Pruebas sensor material particulado	69
5.2.2 Pruebas sensor temperatura y humedad	74
Discusión y conclusiones.....	77
Bibliografía	80

Introducción

La minería es una de las principales actividades de la economía chilena. Actualmente, el país es el principal productor a nivel mundial de cobre, renio, nitratos naturales, litio y yodo. Además, destaca su participación en la producción de molibdeno, plata y oro.

Según un estudio realizado por la Comisión Chilena del Cobre (Cochilco) [1], solo en mineras productoras de cobre trabajan alrededor de 240.000 personas, las cuales se ven expuestas diariamente a partículas pequeñas que se pueden encontrar en el aire en estos lugares gracias a los procesos que realizan para obtener el mineral, tanto los de extracción como los de tratamiento.

En los últimos cuatro años, en la empresa Codelco División Chuquicamata, se retiraron 1.442 trabajadores, de los cuales 577 lo hicieron por enfermedades profesionales o crónicas. Esta situación pone en relieve los riesgos para salud asociados al trabajo en minería y las condiciones de autocuidado de los propios trabajadores.

La medición de contaminantes ambientales ayuda a controlar que las enfermedades de carácter respiratorio disminuyan. A su vez, busca obtener el origen de la presencia de estos materiales o gases contaminantes.

Actualmente, la ley tiene ciertas exigencias con respecto a la cantidad de material particulado que se puede encontrar en el aire y a la ventilación que deben tener los sectores que se ven expuestos a este tipo de contaminante.

Una estación de monitoreo que alerte a la población cuando se encuentran los índices altos de contaminantes, ayuda en gran cantidad. Además, esta estación es capaz de almacenar datos y transferirlos a una base de datos online para realizar un análisis posterior de estos, en donde, se podría conocer el origen de los materiales contaminantes e incluso se pueden realizar predicciones con respecto a esta situación.

A lo largo del presente documento, se describen a fondo cada uno de los tópicos mencionados recientemente. Esto, con el fin de explicar la necesidad de desarrollar un estación de monitoreo que mida la calidad del aire para la industria minera, y el proceso de diseño y construcción de dicho sistema.

1 Antecedentes generales

La actividad minera produce prosperidad en las zonas donde se lleva a cabo, pero indudablemente tiene un impacto ambiental. La resolución de conflictos puede involucrar pagos de compensaciones, derechos de paso y eventualmente el costo de rehabilitar zonas explotadas o directamente al abandono de proyectos mineros. En algunos países el riesgo político constituye una barrera para la inversión minera, mientras que en otros el riesgo ambiental constituye una barrera tanto o más importante. Actualmente, el hecho de abrir una nueva mina en EEUU o Canadá es muy difícil dado las condicionantes ambientales impuestas en las últimas décadas.

A continuación, se presentarán las diversas problemáticas generadas en el ámbito de la salud dentro de la sociedad minera. A su vez, se explicarán los procesos que generan mayor cantidad de problemas en los trabajadores y sus principales motivos.

1.1 Descripción detallada del problema.

1.1.1 La importancia de la exposición al sílice en Chile.

La Silicosis es una de las enfermedades profesionales reconocida desde la antigüedad, ya en el siglo XVI, George Agrícola, hace referencia a la muerte prematura de los mineros a causa de este padecimiento. Esta es la Neumoconiosis más conocida y extendida en el mundo, se trata de una enfermedad grave y potencialmente mortal que se caracteriza por una fibrosis pulmonar producto de la inhalación de polvo que contiene sílice, es dosis dependiente, irreversible y progresiva, aun después de eliminar la exposición [2].

Los factores determinantes del daño a la salud que produce la exposición son: tipo de sílice, forma del cristal, el tamaño de la partícula y la dosis acumulada. La evidencia indica que el potencial tóxico depende de la estructura química y de su superficie, siendo importante la fractura reciente del cristal.

A continuación, se muestra un resumen del estudio exploratorio sobre el Diagnóstico Nacional de la situación de exposición a sílice en los lugares de trabajo y de los trabajadores, realizado por el Instituto de Salud Pública (ISP) en el período 2004 – 2005. [3]

En este estudio se evaluaron 132 empresas, las que contemplaron 31 rubros. Se tomaron 364 muestras de aire y 127 muestras de material (polvo sedimentado y materias primas). Los principales resultados fueron:

- Del total de empresas evaluadas, el 35% tiene una media geométrica que sobrepasa el límite permisible ponderado (LPP) de sílice libre cristalizada en fracción respirable.
- Del total de muestras de aire, el 33% supera el valor del LPP y el 60% presenta valores de concentraciones iguales o superiores al 50% del LPP.

Además se realizó una encuesta en 82 empresas (63% se encontraban afiliadas a una Mutualidad, 30% al Instituto de Seguridad Laboral (ISL), 3% eran empresas de Administración Delegada y 4% sin información). De estas empresas 36 tenían al menos 25 trabajadores, 21 empresas tenían entre 100 y más de 25 trabajadores y 24 empresas tenían más de 100 trabajadores (hubo 1 empresa sin información).

Es importante destacar de este estudio:

1. Solo el 23% de las empresas había realizado alguna medición ambiental de sílice los últimos 3 años. De estas, la mitad había implementado un Programa de Vigilancia Ambiental.
2. La mayoría de las empresas contaban con poca información sobre mediciones ambientales de sílice, respecto a la fecha y valor de última medición.
3. Solo el 17% de las empresas contaba con Programas de Vigilancia de la Salud.

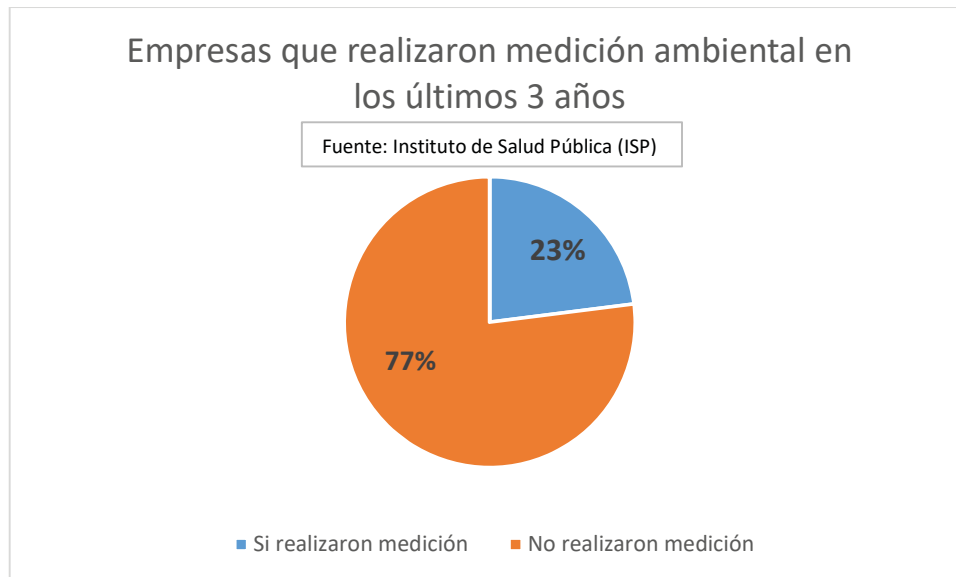


Figura 1-1: Gráfico de empresas que realizaron medición ambiental. [3]

Respecto a los Elementos de Protección Personal (EPP):

4. El 18 % de las empresas contaban con Programas de Mantenimiento de EPP Respiratorio.
5. En el 59% de las empresas se otorgaba protección respiratoria a los trabajadores, pero solo en el 61% de éstas se había capacitado a los trabajadores en su utilización y solo el 54% de ellas eran adecuadas al riesgo.

- **Toma de muestra de sílice:** Dentro de esta sección, se indicarán cinco puntos de relevancia, los cuales son: Objetivo, fundamento del método analítico, campo de aplicación, inconvenientes y limitaciones, y volumen de muestreo

- **Objetivo:** Establecer la metodología correspondiente a la toma, transporte y conservación de muestras de polvo silicótico. Señalar el fundamento del método analítico, su campo de aplicación y sus limitaciones.
- **Fundamento del método analítico:** Un volumen de aire conocido se pasa a través de un filtro de cloruro de polivinilo (PVC). La muestra se digiere en ácido fosfórico para eliminar los silicatos presentes.

El material cristalino remanente se disuelve con ácido fluorhídrico. La sílice se determina colorimétricamente como silicomolibdato a 420 [nm] o como azul de molibdeno a 820 [nm]. Cuando es necesario determinar el % de sílice libre en la muestra ambiental, se utiliza en el muestreo un filtro previamente tarado (con una aproximación mínima de 0,01 [mg]). El filtro es acondicionado, tanto en la pesada previa a la toma de muestra como en la posterior a la misma, en una cámara de humedad controlada, un mínimo de 24 horas. La diferencia de peso entre ambas pesadas, expresada en mg, mide la cantidad de polvo retenido en el filtro.

- **Campo de aplicación:** Abarca el área de la higiene industrial, en lo que respecta a la captación de polvo silicótico total o respirable y su posterior determinación colorimétrica (sílice libre cristalina).

El método puede adaptarse para analizar cualquier materia prima o polvo depositado, del que se precise conocer su porcentaje en sílice libre cristalina. Permite determinar concentraciones de sílice libre entre el margen de 5 [µg] y 2,5 [mg] por filtro. Para un volumen de muestreo de 300 litros, significa que puede determinarse una concentración ambiental de sílice libre de 0,016 a 8,3 [mg / m³]. El límite de detección puede estimarse en 5 [µg] de sílice libre por filtro.

- **Inconvenientes y limitaciones:** Durante la digestión de la muestra en ácido fosfórico, para eliminar silicatos, puede existir pérdida de sílice libre por disolución.

La solubilidad de la sílice libre está en función del tamaño de las partículas, siendo las finas y pequeñas las que son más susceptibles de presentar esta fuente de error. Existen silicatos resistentes al ataque con ácido fosfórico, que pueden proporcionar errores por exceso. La presencia de cantidades importantes de ión férrico (> 1 mg por

muestra) puede producir bajos resultados, si no se elimina mediante un tratamiento preliminar con mezcla de ácido HCl-HNO₃ (10:1). El procedimiento analítico es largo y requiere experiencia y habilidad en el analista, para obtener resultados reproducibles. El método no diferencia entre sí los distintos polimorfos de la sílice libre cristalina (cuarzo, cristobalita y tridimita), y los resultados obtenidos son de sílice libre total.

- **Volumen de muestreo:** El volumen de muestreo tiene directa relación con el caudal específico de muestreo y el tiempo de muestreo. Cuando existan altas concentraciones en el ambiente, el volumen total de muestreo se podrá alcanzar tomando más de una muestra, para evitar la colmatación de los filtros. En esta última situación, para cada una de las muestras, se deberá tener presente el volumen mínimo de muestreo y el límite inferior de cuantificación, dependiendo de la técnica analítica.

Para determinar el volumen de muestreo, se utiliza la siguiente fórmula:

$$V_m = Q_m * T_m \quad (1-1)$$

En donde:

V_m : Volumen muestreado

Q_m : Caudal de muestreo

T_m : Tiempo de muestreo

Generalmente, la muestra tomada se almacena en un testigo para su posterior análisis en laboratorio. [4]

- **Formas de muestreo:**

- **Bomba de aspiración:** Bomba para muestreo personal y ambiental, cuyo caudal se mantenga dentro del valor determinado, con una exactitud de $\pm 5\%$. La calibración de la bomba debe realizarse con el mismo tipo de soporte o unidad de captación, con el fin de que la pérdida de carga sea similar a la que se tendrá en el muestreo.
- **Unidad de captación:** Puede realizarse por filtro o directamente en un testigo. Existen filtros que no son aceptables por su elevado contenido en sílice. Filtro de membrana de cloruro de polivinilo (PVC), de 37 [mm] de diámetro y 5 micras de tamaño de poro, previamente tarado con una aproximación mínima de 0,01 [mg].
- **Portafiltros o cassettes:** Cassettes de poliestireno de 2 o 3 cuerpos, de 37 [mm] de diámetro, en los que se coloca el filtro sobre el soporte de celulosa. Los cassettes moldeados con acetato-butirato de celulosa (tenita) no deben utilizarse en el

muestreo, dado que originan un incremento de peso en los filtros blancos. Utilizar cassettes de dos cuerpos para muestrear fracción de polvo respirable.

- **Ciclón:** Utilizarlos solo cuando se muestrea fracción de polvo respirable. Ciclón de nylon de 10 [mm].

1.1.2 Enfermedades producidas

En la siguiente sección, se explicará de forma detallada las enfermedades que se producen comúnmente en la minería por exposición a contaminantes. Estas son: neumoconiosis, silicosis, cáncer al pulmón, enfermedad pulmonar obstructiva crónica, bronquitis industrial, infección respiratoria por micro bacterias, asma ocupacional, efectos de cobalto y siderosis.

- **Neumoconiosis:** Se define como la acumulación de polvo en los pulmones y las reacciones del tejido en presencia de este polvo, estas se producen por contaminación del medio ambiente y del sitio del trabajo [5].

En la actualidad, es un problema importante de salud entre los trabajadores y en la sociedad. Es bien conocido que la relación entre la exposición a los polvos minerales y los efectos que produce sobre la salud dependen de la dosis acumulada, es decir, de la concentración del polvo en el aire y de la duración de la exposición, también depende de la permanencia de este polvo en los pulmones. Asimismo, se sabe que existe un periodo de latencia entre el inicio de la exposición y el comienzo de las manifestaciones clínicas que puede ser más o menos largo dependiendo del tipo de neumoconiosis.

El diagnóstico se puede hacer temprano con base en los antecedentes de exposición, los datos radiográficos y las alteraciones funcionales. Tardíamente, se vuelve evidente con los síntomas y signos de las complicaciones. Dos de las complicaciones más frecuentes son la bronquitis crónica y el enfisema pulmonar, que generalmente coinciden en el mismo trabajador.

- **Silicosis:** Es la neumoconiosis producida por el sílice, es decir, por la acumulación de sílice y silicatos (excepto el asbesto y silicato fibroso). Los contaminantes del medio ambiente y del sitio de trabajo que producen silicosis se presentan en forma de polvo fundamentalmente los minerales.

Si se considera el promedio de la composición química de la corteza de la tierra, resulta que el 98,6% está constituido por sílice y silicatos, y solo el 1,4% restante por otros elementos. [6]

La silicosis se origina porque se inhalan partículas de sílice, de silicatos o de mezcla de estos, naturales o artificiales, sobre todo porque es difícil en la práctica utilizar sílice o silicatos puros, casi siempre están entremezclados. Las fuentes son el lugar o los lugares en el sitio de trabajo, de donde provienen él o los contaminantes.

Las partículas de sílice y silicatos de los polvos se liberan en la extracción de minerales o materiales "mineralizados" (fosilizados), en su transporte dentro de un país o de un país a otro por vía terrestre, fluvial, marítima o aérea. El procesamiento, o sea, la modificación fisicoquímica de los mismos (al quebrantar, triturar, desmenuzar, moler, pulverizar y manejar estos materiales, calcinarlos o someterlos a sustancias químicas para modificarlos), y finalmente, el uso al emplearlos en la industria. Las industrias que utilizan minerales o materiales "mineralizados" (fosilizados), son de dos clases principales, de extracción y de transformación.

Las industrias de extracción son las minas, de superficie o subterráneas (de poca, mediana o mucha profundidad), de minerales ferrosos y no ferrosos, y dentro de estos últimos las minas de metales preciosos (sobre todo de oro y plata), las minas de arena (grava, confitillo, etcétera), y las explotaciones canteras.

Como el organismo humano carece de caminos metabólicos para disponer de las partículas sólidas, de minerales o materiales "mineralizados" (fosilizados), de los polvos, y porque la solubilidad de estas para formar los diversos ácidos silícicos es muy reducida y a plazo muy largo, tiene que retenerlas en los sitios a los que llegan al inhalarse. Además, las partículas de sílice y silicatos no pueden ser totalmente eliminadas y ni siquiera contenidas, continúan siendo movilizadas de donde estaban relativamente fijas en el pulmón y en los ganglios linfáticos traqueobronquiales.

Las partículas pueden inhalarse en corto o largo tiempo, en escasa, mediana, grande o enorme cantidad, de ínfimo tamaño ($< 1 \mu m$), de tamaño muy pequeño (de 1 a 3 μm), de tamaño mediano (alrededor de 5 μm) o de gran tamaño (10 μm o más), de densidad y propiedades aerodinámicas variables, y con predominio de sílice o de silicatos. Las partículas de gran tamaño se quedan en el filtro que constituyen las vías respiratorias superiores (en brisas, cornetes y nasofaringe), las medianas son las que producen habitualmente la neumoconiosis por sílice y silicatos, las muy pequeñas y numerosas producen un tipo especial de patología pulmonar (la fibrosis pulmonar intersticial y la llamada silicosis aguda), y las ínfimas entran en la inspiración y salen en la espiración, sin retenerse, y constituyen el llamado polvo "respirable". [7]

El resultado final depende, además de otras condiciones, del ambiente del sitio de trabajo en el que se produce la exposición; por ejemplo, las de la humedad del aire que entra en la composición del aerosol que se inhala y de la resistencia (o susceptibilidad) del trabajador al desarrollo de la enfermedad.

- **Cáncer del pulmón:** El cáncer del pulmón debido a la exposición a la sílice está siendo objeto de intensas investigaciones científicas. El centro internacional de investigaciones sobre el cáncer (CIIC) ha determinado que la sílice cristalina es un posible cancerígeno pulmonar para el ser humano [8] y, en respuesta a esa posibilidad, el Instituto Nacional de salud y Seguridad ocupacional de los Estados Unidos ha recomendado que se le dé mayor protección posible contra la exposición a la sílice. Algunos investigadores sugieren

que la silicosis y no la exposición a la sílice es el factor de riesgo más importante para el cáncer. En cualquier caso, al igual que con el cáncer del pulmón por exposición al asbesto, no hay indicios por el momento de que los cánceres de pulmón asociados al polvo de sílice difieran de otros cánceres de pulmón. No se han encontrado métodos eficaces de diagnóstico precoz que lleven a una intervención fructífera. Puesto que la exposición al polvo de sílice está extendida y el cáncer del pulmón es común, incluso, una pequeña diferencia en el riesgo relativo de cáncer del pulmón derivada de la exposición al polvo de sílice podría entrañar un número considerable de casos de cáncer del pulmón de origen ocupacional.

- **Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC):** Una gran parte de los pacientes con Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC) no se encuentra diagnosticado y por lo tanto no recibe el tratamiento necesario para evitar la agudización de la patología, un aspecto fundamental para mantener la calidad de vida.

Cada vez es mayor la evidencia de que la inhalación de polvo mineral en el medio laboral es un factor de riesgo de EPOC.

La bronquitis y la limitación del paso del aire también aparecen con más frecuencia en los trabajadores expuestos a la sílice que en la población general y, al aparecer, su riesgo depende de la exposición total a los contaminantes del aire en el lugar del trabajo. En general, esas afecciones son una importante causa de morbilidad y pueden provocar mortalidad prematura. La intervención precoz mediante el control o la interrupción de las exposiciones nocivas (por ejemplo, al polvo o al humo del tabaco), puede dar lugar a una inversión de los síntomas de bronquitis y presuntamente disminuir también el ritmo de progresión de la limitación del flujo aéreo.

La irritación crónica que producen las partículas de los polvos minerales son causantes de bronquitis industrial que complica a las neumoconiosis e interviene en la producción de bronquitis crónica con el tiempo.

Junto al asma, esta es la patología más frecuente en pacientes con problemas respiratorios. Los expertos apuntan como una causa la dejadez para acudir al especialista, ya que los síntomas de la EPOC suelen confundirse con catarros o sus efectos se atribuyen al tabaco.

- **Bronquitis Industrial:** Es una enfermedad de las vías respiratorias por contaminantes e irritantes en el sitio de trabajo. Se ha confirmado que la mayoría de los pacientes presentan bronquitis, pero algunos presentan además bronquiolitis, alveolitis o neumonitis y como secuela, fibrosis peribronquial o parenquimatosas.

Para prevenir la bronquitis industrial, lo ideal sería eliminar por completo los contaminantes irritantes del medio laboral. Sin embargo, como esto no es posible hay que recurrir a diversas medidas para la protección del trabajador.

- **Infección respiratoria por Microbacterias:** El riesgo de tuberculosis es mayor en los trabajadores con silicosis que en la población general. Es incluso probable, que la tuberculosis sea más común en los trabajadores expuestos a la sílice pero que no padecen de silicosis. El riesgo de tuberculosis aumenta significativamente en los trabajadores expuestos a la sílice cuando los índices generales de tuberculosis son elevados. La tuberculosis puede ser importante causa de morbilidad y mortalidad, especialmente si pasa inadvertida o queda sin tratamiento.

Hablamos de complicación tuberculosa cuando el trabajador presenta una enfermedad común respiratoria que evoluciona a una neumoconiosis y este paciente ya tenía una infección tuberculosa anterior, aparentemente curada. Al desarrollarse las alteraciones pulmonares que produce la inhalación continuada de las partículas del polvo o de los polvos, esto favorece la reinfección con las microbacterias (*Mycobacterium tuberculosis* u otras), que permanecieron latente en las "cicatrices".

Recientemente, ha sido revisada la relación entre exposición a sílice, otros polvos minerales, silicosis y tuberculosis resaltándose que en la silicosis crónica, la incidencia de tuberculosis pulmonar y extrapulmonar es tres veces superior que en grupo de trabajo similar con exposición a sílice pero sin silicosis y algunos estudios encuentran exceso de tuberculosis en la población expuesta a sílice sin silicosis que en la población general.

- **Asma Ocupacional:** El asma ocupacional es un estrechamiento variable de las vías respiratorias relacionado de manera causal con la exposición en el ambiente de trabajo a polvos, gases, vapores, humos contenidos en el aire o como enfermedad caracterizada por limitación variable al flujo de aire, con hiperreactividad bronquial o sin ella, por causas y trastornos atribuibles a un ambiente ocupacional particular y no a los estímulos encontrados fuera del sitio de trabajo.

En 1980 se conocían más de 200 agentes capaces de provocar asma en el medio laboral. Está descrito el papel que juegan ciertos polvos de origen mineral en la génesis de esta enfermedad dentro de los cuales se encuentran el níquel, cobalto, cromo, vanadio, aluminio.

- **Efectos del cobalto:** El cobalto está reconocido como uno de los metales duros que producen fibrosis pulmonar difusa y en ocasiones enfermedad aguda. El cobalto produce neumonitis de células gigantes con una lesión característica, las células gigantes multinucleadas "canibalistas".

El compuesto más tóxico es el monóxido de cobalto. Afecta los sistemas cardiovascular, respiratorio, digestivo, hematológico y endocrino.

La inhalación de cobalto y sus compuestos produce irritación de las vías respiratorias superiores, tiene efecto cancerígeno y se ha demostrado por estudios experimentales su capacidad de producir inmunotoxicidad y embriotoxicidad.

- **Siderosis:** La inhalación de hierro puede dar lugar a una neumoconiosis caracterizada por un patrón ondulación densa a los RX que incluso puede desaparecer con el tiempo. Cuando se inhala sílice se produce conjuntamente una neumoconiosis de polvo mixto (Siderosilicosis).

1.1.3 Soluciones actuales

Aunque la minería no es el único rubro productivo que genera polvo o gases en sus faenas, su control adquiere gran importancia quizás por la relevancia que tiene esta industria para el país. Además, en el complejo escenario en el que hoy se desarrolla, ya no solo es fundamental lograr mejores rendimientos, bajar costos y desarrollar modelos sustentables con el medio ambiente, sino que, entre los múltiples desafíos, está cuidar de la salud de los trabajadores.

Un problema recurrente en la minería es controlar el polvo producido o gases emanados por faenas de distinto tipo. Hacerse cargo de manera efectiva significa gestión, con lo que se mejoran las condiciones de salud de los trabajadores, junto con apoyar procesos sustentables de producción y validación de compromiso con las comunidades [9].

Existen estaciones de monitoreo encargadas de medir y monitorear principalmente el material particulado, como se puede apreciar en la Figura 1-2, obteniendo promedios por hora, días o semanas. Estas mediciones permiten obtener datos estadísticos para informar a la población trabajadora de la minería.

Al ser un problema recurrente dentro del ámbito minero y de las diversas faenas que liberan toxinas, los diversos organismos del área de la salud y del trabajo han decretado ciertas normas para tratar de regularizar estos problemas.

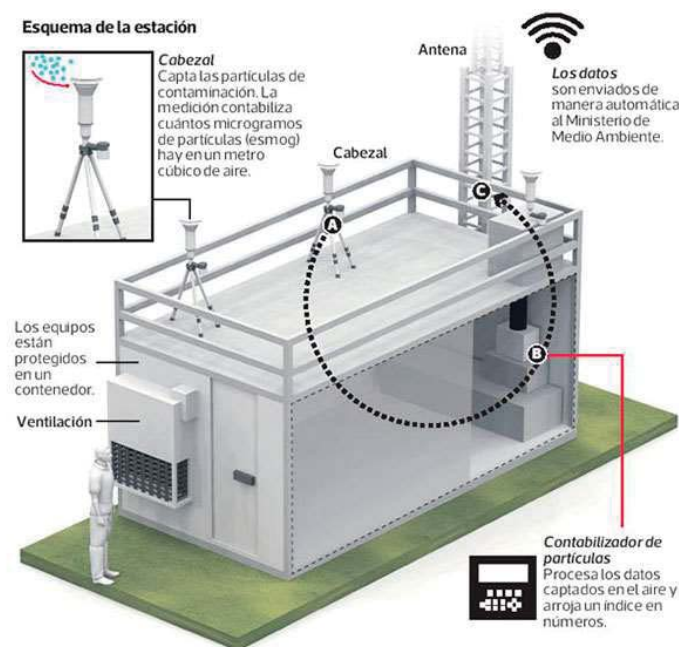


Figura 1-2: Estación de monitoreo con representatividad poblacional, EMRP. (Fuente: SINCA)

- **Superintendencia del Medio Ambiente:**

La Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) busca asegurar el cumplimiento de la normativa ambiental de su competencia, a través de una fiscalización estratégica, la que cada año se realiza mediante programas y subprogramas de fiscalización.

LA SMA tiene la autoridad de fiscalizar: Resoluciones de Calificación Ambiental (RCA), Normas de Calidad y Emisión, Planes de Prevención y/o Descontaminación, Planes de manejo de la ley N°19.300 (la cual establece las bases generales del Medio Ambiente) y otros que la ley establezca a futuro.

La SMA, además, tiene la facultad exclusiva de aplicar sanciones frente a un incumplimiento de dichos instrumentos, las que van desde la amonestación por escrito hasta la revocación de la RCA, incluyendo la aplicación de multas de hasta 10.000 Unidades Tributarias Anuales. Conscientes de que la sanción no es un fin en sí misma, la SMA es la encargada de promover e incentivar el cumplimiento de los regulados, orientándolos en la comprensión de sus obligaciones ambientales.

- **Normativas y Decretos:**

Una Norma Primaria de Calidad Ambiental [10], es aquella que establece los valores de las concentraciones y períodos, máximos o mínimos permisibles de elementos, compuestos, sustancias, derivados químicos o biológicos, energías, radiaciones, vibraciones, ruidos o combinación de ellos, cuya presencia o carencia en el ambiente pueda constituir un riesgo para la vida o la salud de la población.

- **Norma de Calidad Primaria para MP10:** Obtenida del Decreto Supremo N° 59 de 16 de marzo de 1998 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República, Modificado por el D.S. N° 45 de 2001, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República.

La norma primaria de calidad del aire para el contaminante material particulado respirable MP10, es ciento cincuenta microgramos por metro cúbico normal ($150 [(\mu\text{g} / \text{m}^3) \cdot \text{N}]$) como concentración de 24 horas. Se considerará sobrepasada la norma de calidad del aire para material particulado respirable cuando el Percentil 98 de las concentraciones de 24 horas registradas durante un período anual en cualquier estación monitorea clasificada como EMRP, sea mayor o igual a $150 [(\mu\text{g} / \text{m}^3) \cdot \text{N}]$.

Asimismo, se considerará superada la norma, si antes que concluyese el primer período anual de mediciones certificadas por el Servicio de Salud competente se registrare en alguna de las estaciones monitoras de material particulado respirable MP10 clasificada como EMRP, un número de días con mediciones sobre el valor de $150 [(\mu\text{g} / \text{m}^3) \cdot \text{N}]$ mayor que siete (7).

A contar del día 1° de enero del año 2012, la norma primaria de calidad del aire para el contaminante material particulado respirable MP10, será de ciento veinte

microgramos por metro cúbico normal ($120 [(\mu\text{g} / \text{m}^3)\cdot\text{N}]$) como concentración de 24 horas, salvo que a dicha fecha haya entrado en vigencia una norma de calidad ambiental para material particulado fino MP2,5, en cuyo caso se mantendrá el valor de la norma establecido en el inciso primero.

- **Norma de Calidad Primaria para PM2.5:** Es aquella que establece los límites para el material particulado con diámetro aerodinámico menor o igual a 2,5 micrones.

Se considerara sobrepasada la norma primaria de calidad del aire para material particulado fino respirable MP2,5 cuando el promedio aritmético de tres años sucesivos del percentil 98 de los promedios diarios, sea mayor al límite indicados en la Tabla 1-1.

Tabla 1-1 Límites de concentración de MP2,5

Norma MP2,5	Año 2012	Año 2022	Año 2032
Límite de concentración de 24 horas $[(\mu\text{g} / \text{m}^3)\cdot\text{N}]$	63	50	25
Límite de concentración anual $[(\mu\text{g} / \text{m}^3)\cdot\text{N}]$	25	20	10

Se define como niveles que originan situaciones de emergencia ambiental para material particulado respirable MP2,5 a aquellos en que la concentración de 24 horas se encuentre dentro de los rangos de la Tabla1-2.

Tabla 1-2 Rangos de MP2,5 para emergencias

Nivel	Concentración 24 Horas MP2,5 $[(\mu\text{g} / \text{m}^3)\cdot\text{N}]$		
	Año 2012	Año 2022	Año2032
1 Alerta	97 – 131	88-124	69-112
2 Preemergencia	132 - 199	125-199	113-199
3 Emergencia	200 o superior	200 o superior	200 o superior

- **Decreto Supremo 61 (Ministerio de Salud, Subsecretaria de Salud Pública):** Este reglamento es de suma importancia para nuestro proyecto, puesto que se aplica a las condiciones de instalación y funcionamiento de las estaciones de medición de contaminantes atmosféricos, sea que estas pertenezcan a organismos públicos o a

personas naturales o jurídicas privadas, para efectos de que sus mediciones sean consideradas válidas para la autoridad sanitaria respectiva.

Toda instalación destinada a la verificación de una norma primaria de calidad del aire y que deba ser calificada como de representación poblacional por la autoridad sanitaria, debe ser instalada considerando los criterios establecidos en las normas primarias de calidad del aire vigente.

Citando a continuación los artículos 6 y 7:

“Artículo 6º.- Los sistemas de tomas de muestra deben ser contruidos en materiales no reactivos con los gases muestreados, tales como vidrio, acero galvanizado, pvc o acero inoxi-dable.

El diseño de estos sistemas debe ser tal que asegure que el tiempo de residencia de la muestra no es mayor a 20 segundos, entendiendo por ello aquel que tarda la muestra en viajar desde la entrada de la toma de muestra hasta la entrada del analizador. Además, el sistema de toma de muestra debe tener un sistema de extracción de humedad del flujo muestreado.

Los sistemas de toma de muestra contruidos para casetas de monitoreo deben conservar una distancia mínima de un metro entre el techo de la caseta y la entrada del sistema de toma de muestra. Además, la entrada de la toma de muestra debe estar ubicada a una altura superior a 3 metros e inferior a 10 metros sobre el nivel del piso.

Artículo 7º.- Toda estación de monitoreo deberá mantener un registro de los parámetros operacionales básicos recomendados por el fabricante de los equipos y sensores, así como, también, de los subsistemas contenidos en la estación: sistema de almacenamiento de los datos, sistema de toma de muestras, sistema de acondicionamiento de temperatura, sistema de calibración in-situ y similares.

Dichos parámetros operacionales deben obtenerse de los equipos, sensores y subsistemas con una frecuencia mínima de 3 días si los datos no están en línea, y una vez a la semana, si los datos están en línea.”

Los cuales establecen los elementos para construcción, altura de mediciones y el registro de los datos de las mediciones tomadas.

- **Sistema de información Nacional de calidad del aire**

El Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire, SINCA, es una rama del Ministerio del Medio Ambiente, en la cual se puede ver el promedio de las últimas 24 horas de mediciones de material particulado y gases en las diversas regiones donde se encuentran las estaciones de monitoreo normadas y aprobadas por la SMA.

Este sistema, tiene por finalidad informar y proteger a la comunidad chilena, mostrando los índices de MP10, MP2.5, Dióxido de Azufre, Dióxido de Nitrógeno, Monóxido de Carbono y Ozono que poseen las Comunas monitoreadas.

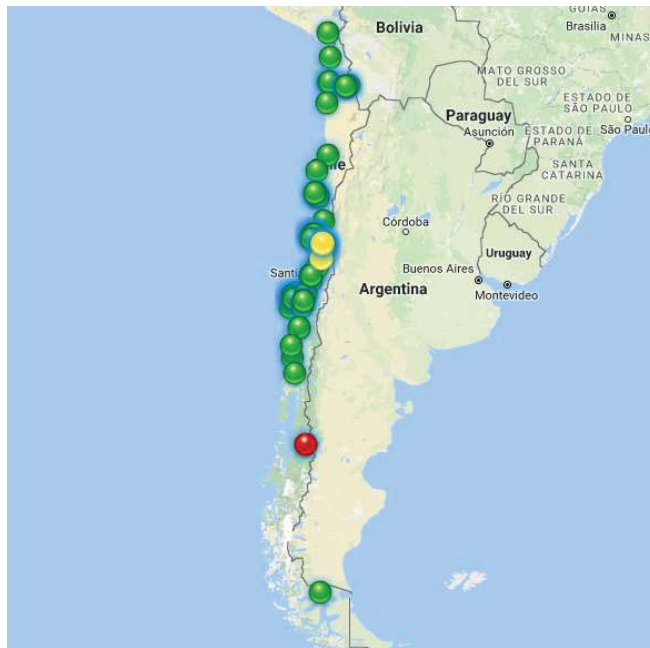


Figura 1-3: Estaciones de Monitoreo que trabajan con el SINCA. (Fuente: SINCA)

Es de suma importancia alertar a la población el estado de preemergencia para que ellos tomen medidas de protección a su alcance.

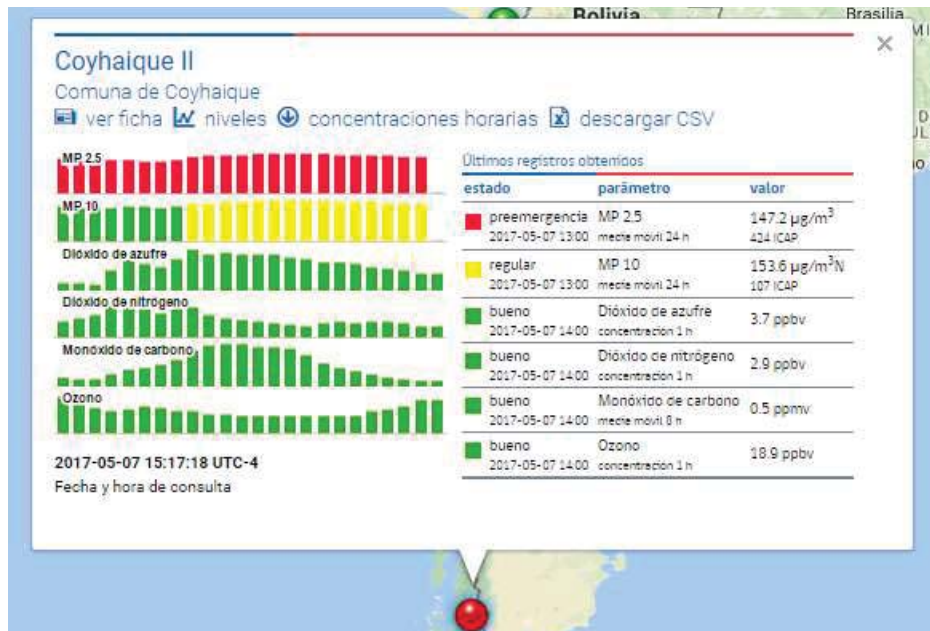


Figura 1-4: Estado de preemergencia por MP2.5 en la comuna de Coyhaique. (Fuente: SINCA)

En la Figura 1-3 se puede apreciar la localización de las principales estaciones de monitoreo a nivel nacional, a su vez, la Figura 1-4 detalla las mediciones obtenidas dentro de un día en una estación de monitoreo en particular, ubicada en la comuna de Coyhaique, la cual se encontraba en preemergencia el día 7 de mayo del 2017.

1.2 Estado del arte

En la actualidad, las estaciones de monitoreo se han vuelto de suma importancia no solo en los sectores mineros, sino que en toda la población mundial, tal como se puede apreciar en la Figura 1-5, donde se pueden apreciar la gran cantidad de estaciones de monitoreo.

Los cambios de clima, la calefacción a leña y la misma industrialización de las ciudades, ha hecho que el aire dentro de las ciudades no sea tan limpio como lo era hace un tiempo atrás.

La empresa MICOMO fue una de las pioneras en traer estaciones de monitoreo con plataformas web a Chile.

La empresa LABAQUA (española) con sus laboratorios AGBAR, son líderes a nivel mundial en monitoreo del aire a nivel de olfatometría, donde incluyen análisis y modelación de emisores de olores al ambiente. Esta empresa formó una alianza con ANAM (empresa chilena) para lograr introducirse con fuerza al mercado del monitoreo.

Otras empresas que funcionan en Chile de forma certificada son: Asesorías Algoritmo Ltda., que trabaja de la mano con el SINCA y CIMM Tecnología y Servicios S.A. que se encuentra trabajando exclusivamente para el sector minero.

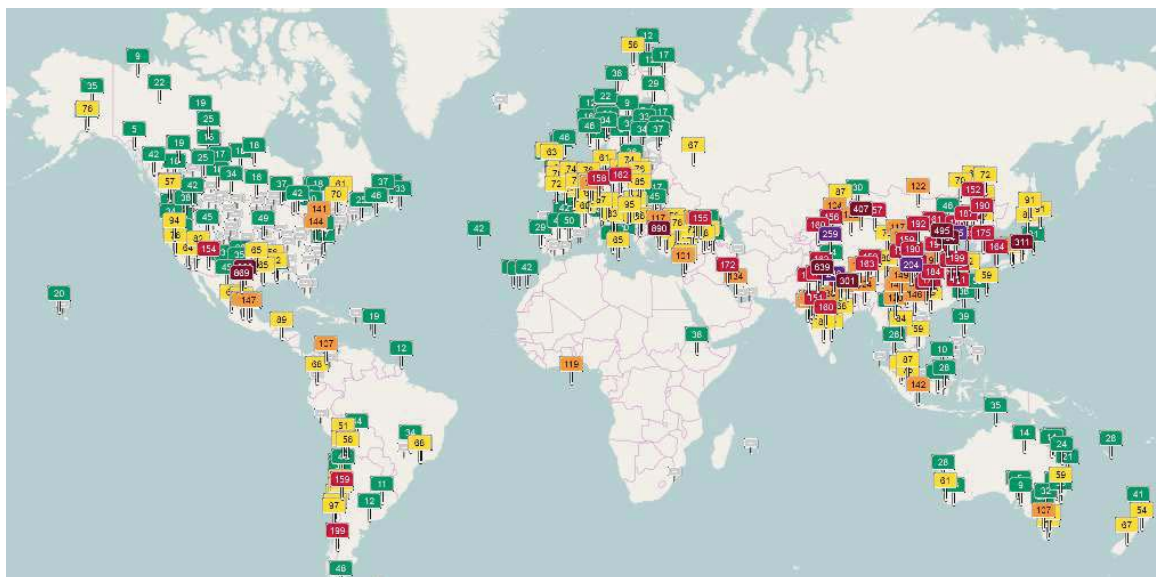


Figura 1-5: Estaciones de monitoreo a nivel mundial con acceso a plataforma web abierta (Fuente: <http://aqicn.org/map/world/es/>).

1.3 Solución propuesta

Podemos ver que las formas de monitoreo son en promedio de 24 horas, pero puede producirse que por lapsus cortos en sectores de trabajos cerrados y específicos, la concentración de material particulado sea mayor que la concentración medida por las estaciones de monitoreo de representatividad poblacional. Es por esto que se busca crear una estación de monitoreo de fácil instalación, la cual pueda ser instalada en cualquier lugar o instalación de la minería donde se encuentren personas trabajando.

Se desarrollará una estación de monitoreo para los sectores mineros, la cual tomará decisiones de forma automática alertando en el sector donde se encuentre. Estas decisiones estarán reguladas por las normas primarias de calidad del aire vistas anteriormente.

Toda la información obtenida por los diversos sensores, será puesta a disposición del área de ambiente y seguridad correspondientes, para que ellos puedan tomar medidas necesarias para la protección de sus trabajadores. Con esto, se logrará que las personas a cargo puedan ver en qué lugar y horas las concentraciones de material particulado son más altas, y así evaluar los procesos que se realizan en esos tiempos. A su vez, cuando las concentraciones se encuentren altas, se alertará al sector de trabajo con unas balizas de colores, donde amarillo establecerá un estado de preemergencia y rojo indicará un estado de emergencia.

Con lo anteriormente expuesto, se busca dar una solución más fidedigna para los trabajadores de la minería, los cuales día a día se ven expuestos a las malas condiciones del aire en sus zonas de trabajo.

- **Sensores:** Las normas primarias de calidad del aire establecen como principales mediciones las de material particulado MP10 y MP2.5, con las cuales se trabajará en la estación de monitoreo. Además se incorpora un sensor de presión, de velocidad y dirección del viento junto a la de temperatura y humedad, puesto que todas las mediciones tomadas por referencia en las normas primarias, establecen una temperatura aproximada de 25°C, la cual al verse aumentada, afecta las condiciones del aire y las partículas o gases que estos poseen.
- **GPS:** Para darle mayor información a los encargados de la revisión de datos de la estación de monitoreo, se incluirá un GPS para que puedan ver en qué lugar específicamente se está viendo afectada la calidad del aire.
- **Base de datos:** Con la finalidad de que la información sea entregada de forma confiable y, a su vez, quede respaldada para futuros estudios, se realizará una base de datos en la memoria interna del sistema. Por otro lado, se creará otra base de datos web, para que se pueda crear una plataforma web de fácil visualización para la minera en cuestión, con su mapa referencial en donde podrá ver todas las estaciones de monitoreo desplegadas en el mapa de la mina.

Todo esto con la finalidad de que el encargado sea capaz de comunicarse de forma rápida con el sector que se está viendo afectado, para que los trabajadores no sean expuestos a problemas de salud.

- **Internet:** Se usará la forma más estable de comunicación con la base de datos, esta es la de redes móviles (3G/4G), ya que en las zonas mineras, por lo general, establecen contrato con ciertas compañías telefónicas, logrando el dispositivo dependa de sí mismo.

1.4 Objetivos

Es importante – para la planificación de todo proyecto – el planteamiento de objetivos. Esto ayuda a esclarecer la finalidad del trabajo, organizar las tareas y pasos a seguir a lo largo del proceso y, también, a evaluar el nivel de satisfacción alcanzado por parte del equipo al finalizar el periodo establecido. A continuación se describe el objetivo general y los objetivos específicos del proyecto.

1.4.1 Objetivo General

1. Desarrollar una estación de monitoreo de calidad del aire para sectores mineros.

1.4.2 Objetivos Especificos

1. Estudiar el estado del arte de las estaciones de monitoreo de calidad del aire.
2. Diseñar una estación de monitoreo.
3. Realizar mediciones de los contaminantes con respaldo de la normativa ambiental.
4. Desarrollar un registro y respaldo de mediciones de los contaminantes en una base de datos WEB.

2 Selección de componentes

La instrumentación es la parte de la electrónica que tiene como objetivo la observación y medida del mundo físico (sea de tipo eléctrico o no) empleando herramientas (instrumentos y equipos) electrónicas. La medida es el proceso empírico (basado en la experimentación) y objetivo (independiente del observador) de asignación de números a las propiedades de los objetos o acontecimientos del mundo real, de forma que sirva para describirlos. Un sistema es un conjunto de elementos o partes simples relacionadas entre sí que interactúan dinámicamente y están organizados en función del objetivo que tenga el sistema.

Conocer las propiedades de cada uno de los elementos es indispensable para evaluar la respuesta del sistema y asegurar su correcto funcionamiento. Un sistema de medida es aquel que obtiene información sobre un proceso físico mediante la asignación de un número a una propiedad de un objeto o suceso para describirlo, con el objetivo de controlar un proceso y proporcionar información para la verificación de un sistema. La información obtenida por un sistema de medida es presentada a un observador o a un sistema de control para su análisis.

2.1 Sistemas de medidas

En este segmento veremos cómo funciona cada sensor y cuáles están certificados por la EPA (Environmental Protection Agency), que es la agencia encargada de la protección ambiental estadounidense y de donde Chile toma sus referencias. Principalmente, nos avocaremos a los sensores de material particulado, viento, temperatura y humedad relativa, presión y GPS, puesto que es de suma importancia conocer en qué condiciones fue tomada la medición del contaminante, y en qué lugar específico ocurrió esta.

2.1.1 Sensor de material particulado

En lo que respecta a calidad de aire interior (Indoor Air Quality, IAQ), dispositivos tales como los purificadores de aire han estado disponibles para su uso en los hogares y en las oficinas desde ya hace algún tiempo. Más recientemente, han entrado en el mercado sistemas de gama alta que incorporan sensores inteligentes de monitoreo de calidad del aire. El usuario accede a esta información a través de una pantalla, y también puede ser usada para ajustar el purificador para lograr una óptima eliminación de una variedad de gases, así como partículas tales como pequeños pelos, polvo y humo de tabaco.

Un sensor de polvo, cuantifica la presencia de partículas en el ambiente circundante utilizando, por ejemplo, un LED infrarrojo y un fototransistor. Una muestra del aire que se quiere controlar ingresa a través de una serie de orificios en el receptáculo del sensor, situado encima del LED de infrarrojos y del detector, como aparece en la Figura 2-1.

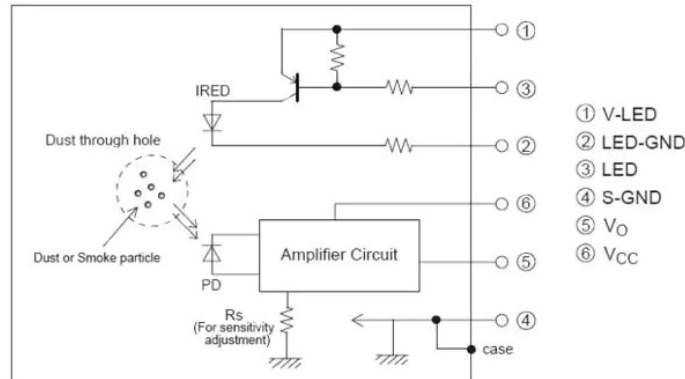


Figura 2-1: Diagrama esquemático del sensor de polvo Sharp GP2Y1010 (Fuente: Digikey).

Al pasar las partículas a través del sensor, la respuesta del fototransistor proporciona una indicación de la concentración de partículas en la muestra. Una de las principales virtudes del sensor Sharp GP2Y1010 es su capacidad para generar una salida proporcional a la concentración de partículas en $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Esto puede ayudar a simplificar el diseño de sistemas de control de la calidad, ya que esta expresión de concentración de partículas es ampliamente utilizada en aplicaciones para el control de calidad del aire.

- **Sensor certificado:** El sensor Aerosol Mass Monitor 831, que se puede apreciar en la Figura 2-2, es de la compañía “MetOne Instruments”, este es un sensor aprobado por la EPA. El sensor posee cuatro canales de medición (PM1, PM2.5, PM4 y PM10), con un rango de 0 a 1000 $[\mu\text{g} / \text{m}^3]$ con una resolución de 0.1 $[\mu\text{g} / \text{m}^3]$ y a su vez contiene una memoria para almacenar un máximo de 2500 mediciones. Tiene un tiempo de muestreo de 1 minuto y puede comunicarse vía USB con el dispositivo que desee el usuario. También cuenta con una batería interna que dura aproximadamente 8 horas de uso continuo. Se alimenta con 8.4 [Vdc] y consume aproximadamente 200 [mA] al máximo de su capacidad. Su precio es aproximadamente de USD\$1500.- (cotizado el 13 de abril del 2017 en www.zefon.com).



Figura 2-2: Sensor Aerosol Mass Monitor 831 (Fuente: Zefon).

- **Sensor validado:** En la actualidad, ya se están realizando mediciones de material particulado en la industria minera. En la Minera Spence utilizan un sensor para realizar medición de material particulado en caminos, el cual se ha comportado de buena forma para sus trabajos. Este sensor se llama DustMate y es de la empresa “Turnkey Instruments” el cual se puede apreciar en la Figura 2-3.



Figura 2-3: Sensor DustMate (Fuente: TechLab).

Este sensor cuenta con una memoria interna de 32Kbytes para almacenar mediciones. Estas mediciones también pueden transmitirse mediante comunicación serial. A diferencia del sensor “Aerosol Mass Monitor 831”, este tiene la cualidad de medir en $[\mu\text{g} / \text{m}^3]$ y a su vez en PCC (partículas por centímetro cúbico) lo que ayuda a cumplir normas a nivel internacional. DustMate solo puede medir PM1, PM2.5 y PM10, posee un consumo de 200 [mA] incluyendo prendido el backlight del LCD. Su voltaje de operación es de 6 [Vdc] y su valor bordea los \$6.000.000.- de pesos (cotizado el 10 de abril del 2017 en www.ayt.cl).

- **Sensor opcional:** En el mundo hay muchas empresas que se dedican a hacer sensores de material particulado, sin embargo hay una en especial con la cual se han realizado estudios comparativos de mediciones realizadas simultáneamente con Dustmate y han llegado a excelentes resultados. Este sensor es el OPC-N2 de la compañía “Alphasense”, se puede apreciar en la Figura 2-4.



Figura 2-4: Sensor OPC-N2 de Alphasense (Fuente: Alphasense).

Este sensor puede medir PM1, PM2.5 y PM10 en $[\mu\text{g} / \text{m}^3]$ y PCC al igual que el DustMate, y estas mediciones las puede almacenar en su memoria interna de 16GB (una microSD). También puede transmitir la información mediante el protocolo SPI. Este sensor tiene un voltaje de trabajo de 4.8 a 5.2 [Vdc] y un consumo máximo de corriente de 175 [mA]. Su valor estimado es de USD\$395.- (cotizado el 10 de abril del 2017 en www.alphasense.com)

- **Elección del sensor:**

Por su bajo costo, se selecciona el sensor OPC-N2 de la empresa Alphasense, el que a su vez, cumple con los requerimientos de medición de PM10 y PM2.5 en las medidas que interpone la normativa. Este sensor es de menor costo por ser de gama media, lo cual facilita su adquisición, y según estudios (aprobados por la EPA para su publicación), este sensor posee un factor de correlación con sus equipos aprobados. [11]

Tabla 2-1 Datos del sensor OPC-N2

Modelo	OPC-N2
Fabricante	Alphasense
Voltaje	4.8 a 5.2 [Vdc]
Corriente	175 [mA]
Variables medidas	MP1, MP2.5 y MP10
Rango de Medición	1500 [mg/m3]
Memoria Interna	16 [GB]
Protocolo de comunicación	SPI
Precio	\$395 dólares

2.1.2 Sensor de temperatura y humedad

- **Funcionamiento:**

- **Sensor de temperatura:** La mayoría de los sensores de temperatura funcionan aprovechando una característica física de algunos materiales conductores y semiconductores. Estos materiales son capaces de variar la resistencia eléctrica en

función de la temperatura ambiente, gracias a este principio podemos describir el funcionamiento de un sensor de temperatura de cualquier tipo.

Existen materiales semiconductores con coeficiente de temperatura negativo (cuando aumenta la temperatura la resistencia disminuye) y otros con coeficiente de temperatura positivo (cuando aumenta la temperatura la resistencia aumenta).

Bajo este principio se fabrican elementos circuitales conocidos como termistores, los cuales son elementos capaces de variar su resistencia en función de la temperatura. Existen dos tipos distintos.

- NTC (*Coeficiente de temperatura negativo*)
- PTC (*Coeficiente de temperatura positivo*)

Según el material que se utilice la curva de Resistencia – Temperatura será diferente, por ejemplo si utilizamos cobre, níquel o platino el comportamiento será bastante lineal (a estos se los conoce como RTD), mientras que si utilizamos óxido férrico u óxido de cobalto la curva será hiperbólica.

Como se puede ver en la Figura 2-5, cada elemento se comporta de manera distinta a los cambios de temperatura, pero lo importante es saber traducir en temperatura los valores de resistencia obtenidos, para cada uno de los casos.

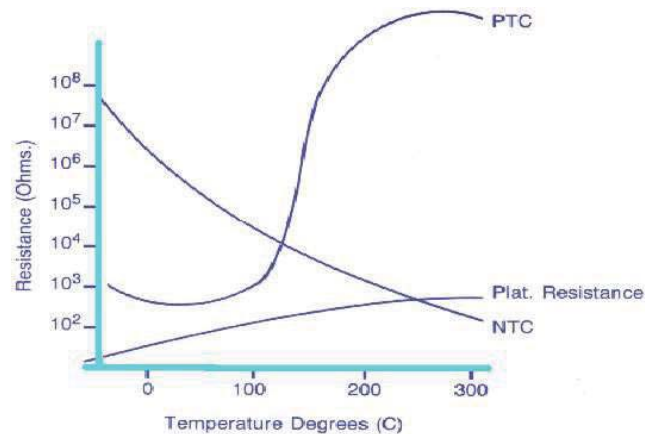


Figura 2-5: Curva resistencia NTC PTC y RTD. (Fuente: electrontools)

- **Sensor de humedad:** Existen varios tipos de sensores de humedad, según el principio físico que siguen para realizar la cuantificación de la misma [12].

- **Mecánicos:** Aprovechan los cambios de dimensiones que sufren ciertos tipos de materiales en presencia de la humedad. Como por ejemplo: fibras orgánicas o sintéticas, el cabello humano, etc.
- **Basados en sales higroscópicas:** Deducen el valor de la humedad en el ambiente a partir de una molécula cristalina que tiene mucha afinidad con la absorción de agua.
- **Por conductividad:** La presencia de agua en un ambiente permite que a través de unas rejillas de oro circule una corriente, debido a que el agua es buena conductora de esta. Según la medida de corriente se deduce el valor de la humedad.
- **Capacitivos:** Se basan sencillamente en el cambio de la capacidad que sufre un condensador en presencia de humedad.
- **Infrarrojos:** Estos disponen de dos fuentes infrarrojas que lo que hacen es absorber parte de la radiación que contiene el vapor de agua.
- **Resistivos:** Aplican un principio de conductividad de la tierra. Es decir, cuanta más cantidad de agua hay en la muestra, más alta es la conductividad de la tierra.

Existen 3 parámetros típicos para medir la humedad:

- **Medición de la humedad relativa (RH):** La medición de la humedad relativa consiste en la relación entre la presión parcial del vapor de agua en el gas de que se trate y la presión de saturación del vapor, a una temperatura dada. Por lo tanto, la humedad relativa es función de la temperatura. La medición es expresada como un porcentaje. La humedad relativa es un parámetro utilizado principalmente en aplicaciones ambientales (ej. acondicionamiento de aire) o mediciones meteorológicas, ya que impacta directamente en el confort humano. Cuando los niveles de humedad relativa son bajos puede producirse electricidad estática que dañe al equipamiento electrónico.
- **Medición del punto de rocío/escarcha (D/F PT):** El punto de rocío es la temperatura, por sobre los 0° Celsius, al cual el vapor de agua presente en el gas condensa. El punto de escarcha es la temperatura, por debajo de 0° grados, a la cual el vapor se cristaliza en hielo. El punto D/F PT es función de la presión del gas pero independiente de su temperatura y, por lo tanto, se lo considera una magnitud fundamental. Los puntos de rocío y escarcha son utilizados cuando la sequedad de un gas es relevante, esto es en procesos en los que debe evitarse la condensación del vapor de agua a bajas temperaturas. El punto de rocío se usa también como un indicador del contenido de vapor de agua en procesos de alta temperatura como el secado industrial.

- **Partes por millón (PPM):** Expresión del contenido de vapor de agua por fracción de volumen (PPMv) o, si es multiplicado por la relación entre el peso molecular del agua y el aire como PPMw. Este parámetro es más dificultoso de conceptualizar porque está fuera del alcance del cuerpo humano detectar los cambios de esta magnitud en la atmósfera. Este término y los asociados como pueden ser: El termino PPM u otros asociados como la relación de mezcla, el porcentaje de volumen y la humedad específica, se utilizan cuando el vapor de agua es una impureza o un componente definido en una mezcla de gases que participa de un proceso industrial. Un ejemplo práctico de su aplicación son los gases de uso medicinal, como pueden ser el óxido nitroso, dióxido de carbono y oxígeno cuándo son utilizados en operaciones quirúrgicas que deben tener un contenido de humedad menor a 60 [ppm].

- **Sensor a utilizar:** Este sensor es un integrado que mide la temperatura (tanto absoluta como relativa) y la humedad (relativa) del ambiente. SHT10 es un sensor utilizado comúnmente para proyectos de uso exterior y utiliza comunicación I2C para informar al controlador los valores que está midiendo. Tiene un consumo muy bajo de corriente (0.55 [mA]) y actúa en un rango de voltajes desde 2.4 a 5.5 [Vdc]. Es por esto que este sensor es muy utilizado para estaciones de monitoreo caseras. Este sensor tiene un valor de \$41.990.- pesos (cotizado el 10 de abril de 2017 en www.mcielectronics.cl).



Figura 2-6: Sensor de temperatura y humedad SHT10. (Fuente: Olimex)

Tabla 2-2 Datos del sensor SHT10

Modelo	SHT10
Fabricante	Sensirion
Voltaje	5 [Vdc]
Corriente	3 [mA]
Rango de Medición	-10°C a 80°C
	0% a 100% [H.R.]
Protocolo de comunicación	I2C
Precio	\$41.990 pesos

2.1.3 Sensor de presión

- **Funcionamiento:** La presión atmosférica es la fuerza por unidad de superficie que ejerce el aire sobre la superficie terrestre.

La presión atmosférica en un punto coincide numéricamente con el peso de una columna estática de aire de sección recta unitaria que se extiende desde ese punto hasta el límite superior de la atmósfera. Como la densidad del aire disminuye conforme aumenta la altura, no se puede calcular ese peso a menos que seamos capaces de expresar la variación de la densidad del aire ρ en función de la altitud z o de la presión p . Por ello, no resulta fácil hacer un cálculo exacto de la presión atmosférica sobre un lugar de la superficie terrestre. Además, tanto la temperatura como la presión del aire están variando continuamente, en una escala temporal como espacial, dificultando el cálculo. Podemos obtener una medida de la presión atmosférica en un lugar determinado pero con ella no se pueden obtener muchas conclusiones: es la variación de dicha presión a lo largo del tiempo lo que nos permite obtener una información útil que, unida a otros datos meteorológicos (temperatura atmosférica, humedad y vientos) nos da una imagen bastante acertada del tiempo atmosférico en dicho lugar e incluso un pronóstico a corto plazo del mismo.

En pocas palabras, la presión atmosférica se da por la columna de aire que existe sobre nosotros. La misma está en función de la altura y relacionada con las condiciones meteorológicas de determinado lugar en determinado momento.

- **Sensor a utilizar:** El sensor de presión barométrica BMP180 es una tarjeta de alta precisión y de bajo consumo de energía. Este sensor ofrece un rango de medición de 300 a 1100 [hPa] (Hecto Pascal), con una precisión absoluta de hasta 0,03 [hPa]. Se basa en la tecnología piezo-resistiva con robustez EMC, alta precisión y linealidad, así como con estabilidad a largo plazo. Este sensor es compatible con un voltaje entre 1,8 y 3.6 [Vdc]. Se ha diseñado para comunicarse directamente a un microcontrolador a través de protocolo I2C.

Este tipo de sensores pueden ser utilizados para calcular la altitud con bastante precisión, lo cual ayuda en el presente proyecto.

Este sensor fue cotizado el 15 de marzo de 2017 en www.proytronic.cl.

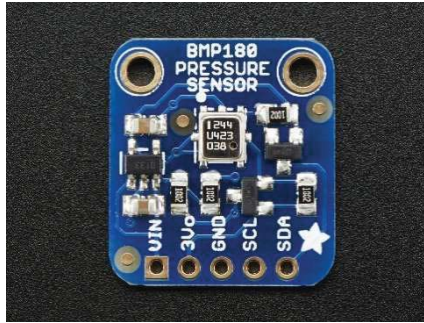


Figura 2-7: Sensor de presión BMP180. (Fuente: Digikey)

Tabla 2-3 Datos del sensor BMP180

Modelo	BMP180
Fabricante	BOSCH
Voltaje	1.8 - 3.6 [Vdc]
Corriente	650 [μ A]
Rango de Medición	300-1100 [hPa]
Protocolo de comunicación	I2C
Precio	\$3.000 pesos

2.1.4 Sensor de velocidad y dirección de viento

- **Funcionamiento:**

- **Anemómetro** o **anemógrafo:** Es un aparato meteorológico que se usa específicamente, para medir la velocidad del viento. Asimismo, es uno de los instrumentos de vuelo básico en el vuelo de aeronaves más pesadas que el aire.

En meteorología, se usan principalmente los anemómetros de cazoletas o de molinete, especie de diminuto molino de tres aspas con cazoletas sobre las cuales actúa la fuerza del viento; el número de vueltas puede ser leído directamente en un contador o registrado sobre una banda de papel (anemograma), en cuyo caso el aparato se denomina anémona. Aunque también los hay de tipo electrónicos.

Para medir los cambios repentinos de la velocidad del viento, especialmente en las turbulencias, se recurre al anemómetro *de filamento caliente*, que consiste en un hilo de platino o níquel calentado eléctricamente: la acción del viento tiene por efecto enfriarlo y hace variar así su resistencia; por consiguiente, la corriente que atraviesa el hilo es proporcional a la velocidad del viento.

Comúnmente se comunican por pulsos o salida con protocolo HART (4-20 [mA]).

- **Veleta:** Para determinar la dirección del viento, la veleta gira y apunta la dirección desde la que viene el viento y generalmente tiene dos partes o extremos: uno que tiene una forma de flecha y que voltea hacia el viento y otro extremo que es más ancho para que atrape la brisa. La flecha apuntará hacia la dirección desde la que sopla el viento, así que si esta apuntado hacia el este, significa que viene del este. Además, la dirección del viento es desde donde sopla el viento. Para usar una veleta, se debe saber dónde están los puntos cardinales.
- **Sensor a utilizar:** ADCON es una empresa dedicada a la creación de sensores robustos, en especial para el monitoreo del medioambiente. Esta empresa, posee un conjunto de sensores de alta precisión, con un simple método de montaje. En última instancia, resistente al agua marina. El arranque óptimo del sensor y la demanda de potencia mínima del sistema se hace posible, por disociación térmica del eje de alojamiento.

Esta empresa tiene entre sus productos el sensor Vento que mide dirección y velocidad del viento. Este sensor cuenta con salidas análogas (una por el anemómetro y otra por la veleta), las cuales varían entre 0 a 2,5 [Vdc]. El sensor en cuestión se puede alimentar con un rango de 3,3 a 12 [Vdc] con un consumo de corriente prácticamente despreciable. El valor de este sensor es de \$520.101.- pesos (cotizado el 5 de mayo de 2017 en www.agrys.cl).



Figura 2-8: Sensor de velocidad y dirección del viento Vento. (Fuente: ADCON)

Tabla 2-4 Datos del sensor Vento

Modelo	Vento
Fabricante	ADCON
Voltaje	3.3 - 12 [Vdc]
Corriente	50 [μ A]
	0 – 55 [m/s]
Rango de Medición	0 – 360° (giro)
Protocolo de comunicación	Análoga (0 – 2.5 [Vdc])
Precio	520.101 pesos

2.1.5 Sensor de posición

- **Funcionamiento:** GPS corresponde a las siglas de Global Positioning System (Sistema de posicionamiento global), un sistema de radionavegación de los Estados Unidos, que proporciona un servicio fiable de posicionamiento, navegación y cronometría de manera gratuita e ininterrumpida a usuarios civiles en todo el mundo. Para obtener información solo es necesario contar con un receptor de GPS, de esta forma se podrá adquirir información de localización, dirección, velocidad y hora exacta en cualquier lugar del mundo, sin importar las condiciones atmosféricas y sin límite de usuarios simultáneos. [13]

El GPS se compone de tres elementos: los satélites en órbita alrededor de la Tierra, las estaciones terrestres de seguimiento y control, y los receptores del GPS propiedad de los usuarios.

Los satélites en órbita alrededor de la Tierra constan de una constelación de 24 satélites activos en órbitas terrestres determinadas, ver Figura 2-9. Estos satélites orbitan a una altitud de 11000 millas náuticas y 55° de inclinación con respecto a la línea ecuatorial, completando una revolución cada 12 horas. Cada satélite entrega una señal de tiempo que es retornada a la Tierra, una vez realizada esta operación, la red de estaciones terrestres constantemente monitorean los satélites y sus órbitas. El trabajo que realizan estas estaciones terrestres es de control preciso de sus órbitas, resguardando su período orbital y de elevación de sus satélites. La precisión es el factor esencial del GPS, ya que estos receptores basan los cálculos posicionales en estos parámetros. [14]

Finalmente, el receptor del GPS adquiere de tres o más satélites visibles la señal de reloj, la que al ser sincronizada con su propia señal de reloj, permite determinar la suma total de tiempo que toma la señal en propagarse a través del espacio y la atmósfera y llegar a la Tierra, conociendo la diferencia de fase entre el satélite y el reloj receptor, la velocidad de la luz y el tiempo de propagación de la señal. En función de la distancia medida a cada satélite, la posición del receptor se determina por triangulación [15].

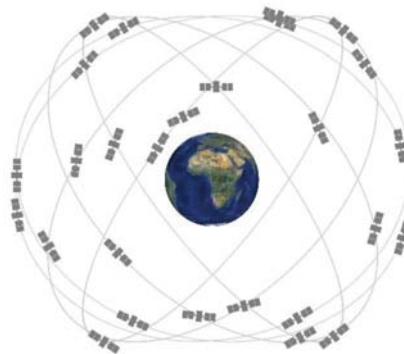


Figura 2-9: Constelación de satélites. (Fuente: gps.gov)

- **Sensor a utilizar:** GroveGPS, es un sensor común en el mundo de los controladores por su fácil conexión y comunicación con estos. Trabaja en un rango de voltajes de 3.3 a 5 [Vdc] y se comunica de forma Serial (Rx y Tx). Este dispositivo es de fácil instalación, puesto que posee una antena incluida que facilita la instalación en los proyectos que necesiten indicar posición. El valor de este dispositivo es de \$29.990.- pesos (cotizado el 10 de abril del 2017 en www.mcielectronic.cl).

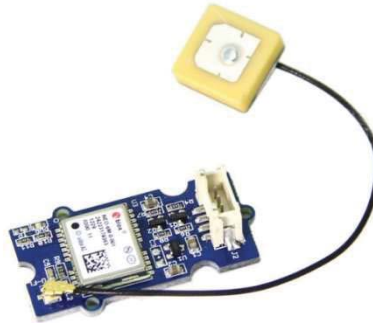


Figura 2-10: Sensor de posicionamiento Grove GPS. (Fuente: Olimex)

Tabla 2-5 Datos del sensor Grove GPS

Modelo	Grove GPS
Fabricante	Ublox
Voltaje	5 [Vdc]
Corriente	10 [mA]
Rango de Medición	NA
Protocolo de comunicación	Serial
Precio	\$29.990 pesos

2.2 Datalogger

Un buen reemplazo de dataloggers se puede formar con computadores embebidos, estos dispositivos se encuentran fácilmente en el mercado.

Un sistema embebido o empotrado (integrado, incrustado) es un sistema de computación diseñado para realizar una o algunas pocas funciones dedicadas, [16] [17] frecuentemente en un sistema de computación en tiempo real. Al contrario de lo que ocurre con los ordenadores de propósito general (como por ejemplo una computadora personal o PC) que están diseñados para cubrir un amplio rango de necesidades, los sistemas embebidos se diseñan para cubrir necesidades específicas. En un sistema embebido la mayoría de los componentes se encuentran

incluidos en la placa base (tarjeta de vídeo, audio, módem, etc.) y muchas veces los dispositivos resultantes no tienen el aspecto de lo que se suele asociar a una computadora. Algunos ejemplos de sistemas embebidos podrían ser dispositivos como un taxímetro, un sistema de control de acceso, la electrónica que controla una máquina expendedora o el sistema de control de una fotocopidora entre otras múltiples aplicaciones.

Por lo general, los sistemas embebidos se pueden programar directamente en el lenguaje ensamblador del microcontrolador o microprocesador incorporado sobre el mismo, o también, utilizando los compiladores específicos, pueden utilizarse lenguajes como C o C++. En algunos casos, cuando el tiempo de respuesta de la aplicación no es un factor crítico, también pueden usarse lenguajes interpretados como JAVA.

2.2.1 Microcontroladores

Un microcontrolador (abreviado μ C, UC o MCU) es un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria. Está compuesto de varios bloques funcionales, los cuales cumplen una tarea específica. Un microcontrolador incluye en su interior las tres principales unidades funcionales de una computadora: unidad centro de procesamiento, memoria y periféricos de entrada/salida.

Algunos microcontroladores pueden utilizar palabras de cuatro bits y funcionan a velocidad de reloj con frecuencias tan bajas como 4 [kHz], con un consumo de baja potencia (mW o microvatios). Por lo general, tendrá la capacidad de mantenerse a la espera de un evento como pulsar un botón o de otra interrupción; así, el consumo de energía durante el estado de reposo (reloj de la CPU y los periféricos de la mayoría) puede ser solo de nanovatios, lo que hace que muchos de ellos sean muy adecuados para aplicaciones con batería de larga duración. Otros microcontroladores pueden servir para roles de rendimiento crítico, donde sea necesario actuar más como un procesador digital de señal (DSP), con velocidades de reloj y consumo de energía más altos.

Cuando es fabricado el microcontrolador, no contiene datos en la memoria ROM. Para que pueda controlar algún proceso es necesario generar o crear y luego grabar en la EEPROM o equivalente del microcontrolador algún programa, el cual puede ser escrito en lenguaje ensamblador u otro lenguaje para microcontroladores. Sin embargo, para que el programa pueda ser grabado en la memoria del microcontrolador, debe ser codificado en sistema numérico hexadecimal que es finalmente el sistema que hace trabajar al microcontrolador cuando este es alimentado con el voltaje adecuado y asociado a dispositivos analógicos y discretos para su funcionamiento.

- **Arduino nano:** El Arduino Nano es una pequeña y poderosa tarjeta basada en el microcontrolador ATmega328. Posee las mismas funcionalidades que un Arduino UNO, solo que en un tamaño reducido. Para programarla solo se necesita de un cable Mini USB.

Esta placa de desarrollo posee 14 entradas/salidas digitales, 8 análogas, comunicación SPI e I2C, se puede alimentar con un voltaje entre 7 a 12 [Vdc] o simplemente conectándola por USB. Su frecuencia de trabajo es de 16 [MHz] y posee 32 [kbytes] de memoria flash junto a 1 [kbyte] de EEPROM.

Esta placa de desarrollo se puede encontrar en el mercado por un valor de \$4.990.- pesos (cotizado el 10 de abril de 2017 en www.altronics.cl).



Figura 2-11: Placa de desarrollo Arduino Nano. (Fuente: arduino.cc)

- **Pingüino:** Pingüino es una plataforma de hardware y software "open source" para la experimentación con microcontroladores, similar a Arduino pero basada en un microcontrolador PIC18F2550 y cuenta con su propio Entorno de Desarrollo Integrado (IDE) de uso y apariencia similar al de Arduino. A diferencia de la placa Arduino, el Pinguino no necesita una Interfaz UART a USB adicional para comunicarse con la PC, debido a que el microcontrolador PIC18F2550 tiene un módulo USB integrado, lo cual le permite comunicarse directamente con la PC y reduce el costo del hardware, dejando además libre el puerto UART del microcontrolador para las aplicaciones.

Esta placa posee 24 entradas/salidas digitales, 8 análogas, comunicación SPI e I2C, se alimenta con 5 [Vdc]. Su frecuencia de trabajo es de 20 [MHz] y tiene 32 [kbytes] de memoria flash junto a 256 [bytes] de EEPROM. El precio de esta placa de desarrollo ronda los \$12.500.- pesos (cotizado el 15 de abril de 2017 en www.seeedstudio.com)



Figura 2-12: Placa de desarrollo Pingüino. (Fuente: seedstudio)

- **Elección:** La placa “Arduino Nano” tiene ventajas con respecto a la placa de desarrollo “Pingüino” con respecto a su trayectoria en el mercado. La mayoría de los sensores vistos anteriormente tienen diversos ejemplos de desarrollo con Arduino, es por esto que es mejor opción para resolver la problemática presentada dentro de este proyecto.

Tabla 2-6 Datos del Arduino Nano V3.0

Modelo	Arduino Nano V3.0
Voltaje	5Vdc (USB) o 7 [Vdc] a 12 [Vdc]
Corriente	20 [mA]
Comunicación	I2C, SPI, análoga y digital
Precio	\$4.990 pesos

2.2.2 Computadores embebidos

Una computadora es un aparato electrónico programable, que opera bajo el control de las instrucciones almacenadas en su memoria y que es capaz de responder a las nuevas instrucciones que le son dadas. Actualmente, esta definición se suele aplicar a las Computadoras de Escritorio, PCs, y Laptops. Sin embargo, el término computadora abarca una categoría mucho más grande de aparatos electrónicos, en la que hay varios tipos de computadoras. A continuación se describirán distintos tipos de computadores embebidos.

- **Beaglebone Black:** Es una placa computadora de hardware libre de bajo consumo producida por Texas Instruments en asociación con DigiKey y Newark Element14. El BeagleBoard también fue diseñado con el desarrollo de software de código abierto en mente y como una forma de demostrar las capacidades del procesador OMAP3530 system-on-a-chip de Texas Instruments.

Este dispositivo tiene integrada una memoria RAM de 512 [MB], el reloj de procesador a 1 [GHz] y 2 [GB] de memoria flash. La BeagleBone Black también se entrega con kernel Linux 3.8, actualizado del kernel Linux 3.2 de la BeagleBone original, permitiendo a la BeagleBone Black tener la ventaja del Gestor de Renderizado Directo (DRM).

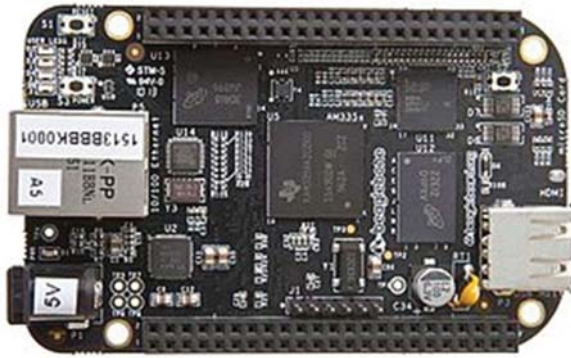


Figura 2-13: Computador embebido Beaglebone black. (Fuente: beagleboard.org)

- **Raspberry Pi 3:** Raspberry Pi es un computador de placa reducida, computador de placa única o computador de placa simple (SBC) de bajo costo desarrollado en Reino Unido por la Fundación Raspberry Pi, con el objetivo de estimular la enseñanza de ciencias de la computación en las escuelas.

La Raspberry Pi 3 fue sacada a la luz en el año 2016, posee un procesador Quad-Core de la compañía Broadcom con una frecuencia de 1.20 [GHz]. Posee una memoria RAM en 1 [GB].



Figura 2-14: Computador embebido Raspberry pi 3. (Fuente: gearbest)

- **Elección:** Para realizar la elección, se consideraron los datos de la presente tabla comparativa.

Tabla 2-7 Comparación entre Raspberry Pi 3 y Beagleboard Black

	Raspberry Pi 3	Beagleboard Black
Procesador	1.2 [GHz] quad-core	1 [GHz] TI Sitara AM3359
	ARMv8 CPU	ARM Cortex A8
Arquitectura	64 [bit]	32 [bit]

Conjunto de instrucciones	ARMv8 CPU	ARMv7
RAM	1 [GB]	512 [MB]
Almacenamiento	MicroSD	4 [GB] interno, eMMC, MicroSD

La Raspberry Pi 3 tiene mejores características que la Beagleboard Black, y también tiene una gran ventaja, puesto que se ha desarrollado un dispositivo de protección de apagado para cualquier eventualidad llamado Juice4Halt. La placa Juice4Halt se basa en 2 súper capacitores, los que permiten alimentar la placa Raspberry Pi por un tiempo aproximado de 2 minutos, si esta es desconectada de su fuente de alimentación principal, por lo que se puede hacer un apagado seguro y permite extender la vida útil del equipo.

Por lo anteriormente expuesto, se decidió utilizar la Raspberry pi 3 para el desarrollo del proyecto. El sistema de protección se puede apreciar montado a la Raspberry Pi 3 en la Figura 2-15.

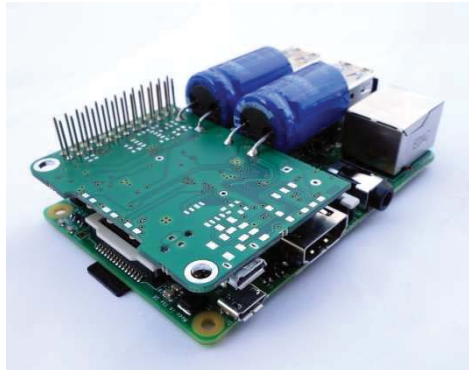


Figura 2-15: Raspberry pi 3 con sistema de protección Juice4Halt. (Fuente: Juice4halt.com)

Tabla 2-8 Datos de Raspberry Pi 3 y Juice4Halt

Modelo	Raspberry Pi 3
Voltaje	7 [Vdc] a 32 [Vdc] (Juice4Halt)
Corriente	500 [mA]
Memoria Ram	1 [Gb]
Comunicación	USB y Ethernet
	\$32.500 pesos
Precio	\$78 euros (J4H)

2.3 Routers industriales

La comunicación con internet se vuelve algo indispensable para las estaciones de monitoreo, es por esto que para los sectores mineros se necesita la mayor cobertura para permitir ubicar y comunicar la estaciones en zonas alejadas.

Dentro de los routers disponibles en el mercado para uso industrial tenemos los siguientes:

- **Four-Faith:** Es una empresa de procedencia China que realiza routers industriales los cuales tienen la capacidad de conectividad 3G/4G. A su vez ofrece la opción de GPS incorporado. Este router trabaja a 9 [Vdc] y tiene un consumo de corriente de 800 [mA]. El precio de este router es de \$220.000.- pesos (cotizado el 10 de abril de 2017 en www.four-faith.com).



Figura 2-16: Router industrial Four-Faith. (Fuente: Four-Faith)

- **Wlink-tech:** Es un router español que tiene las mismas cualidades que Four-Faith. Estos routers poseen un estándar industrial los cuales los han hecho líderes en su mercado. Tienen un rango de trabajo de voltaje de 7.5 a 32 [Vdc] y un consumo de entre 300 a 600 [mA] según el modelo deseado.

A diferencia de los routers Four-Faith, Wlink-tech se fabrica equipos con comunicación serial (RS232 y RS485) lo cual hace que su valor sea mayor. El precio es de \$420.000.- pesos (cotizado el 10 de abril de 2017 en www.wlink-tech.com).



Figura 2-17: Router Industrial Wlink. (Fuente: Wlink)

- **Elección:** Por el conocimiento que se posee con anterioridad sobre el uso de routers y pruebas de estos en terrenos de condiciones extremas como lo son las mineras, se utilizará el router de la compañía Four-Faith, el cual se ha comportado de buena forma en equipos que ya se encuentran en la mina de Spence.

Tabla 2-9 Datos de F7436

Modelo	F7436
Fabricante	Four-Faith
Voltaje	7 [Vdc] a 24 [Vdc]
Corriente	800 [mA]
Compañía 3G/4G	Movistar
Precio	\$220.000 pesos

3 Diseño de la propuesta

Debido a que se está generando un instrumento que requiere medir variables reales, es imperativo como primer paso el definir el método de medición que utilizará el dispositivo, ya que esto define requerimientos específicos para cada tipo de adquisición.

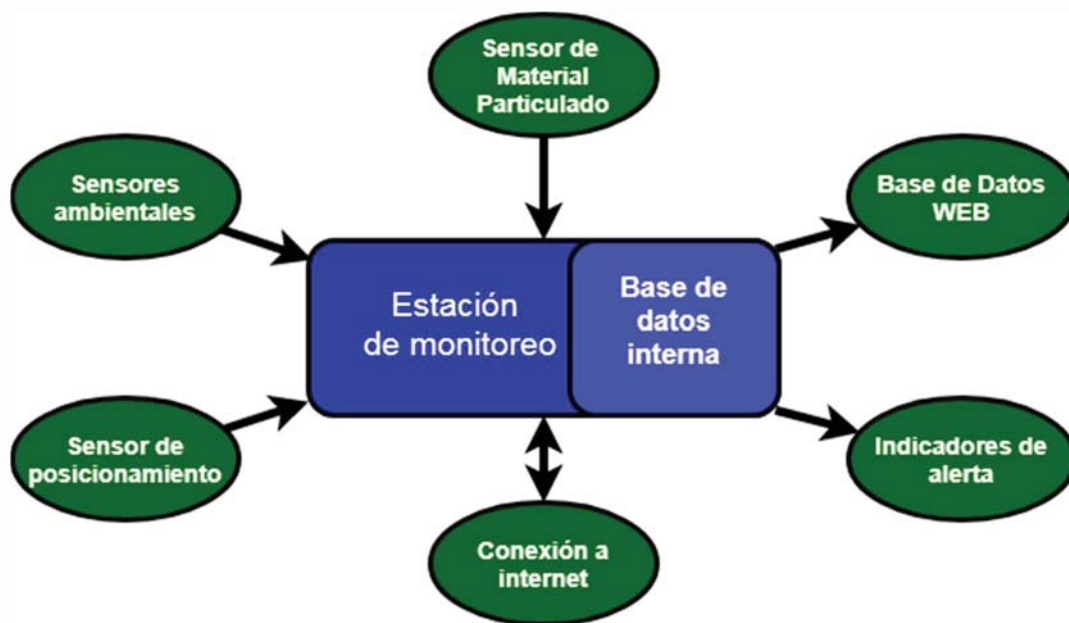


Figura 3-1: Esquema de solución propuesta.

En la Figura 3-1 se pueden apreciar cuales son las cualidades que tiene la propuesta diseñada. Estas cualidades se explican en los puntos que vienen a continuación.

- **Esquema de funcionamiento:**

Para ver de mejor forma el cómo se tomarán los datos y el método en cómo se medirán, es importante definir el esquema que se utilizará para tomar los datos con los materiales vistos anteriormente.

A continuación se presenta la forma de conexiones de los elementos más importantes para el desarrollo de la estación de monitoreo de calidad del aire.

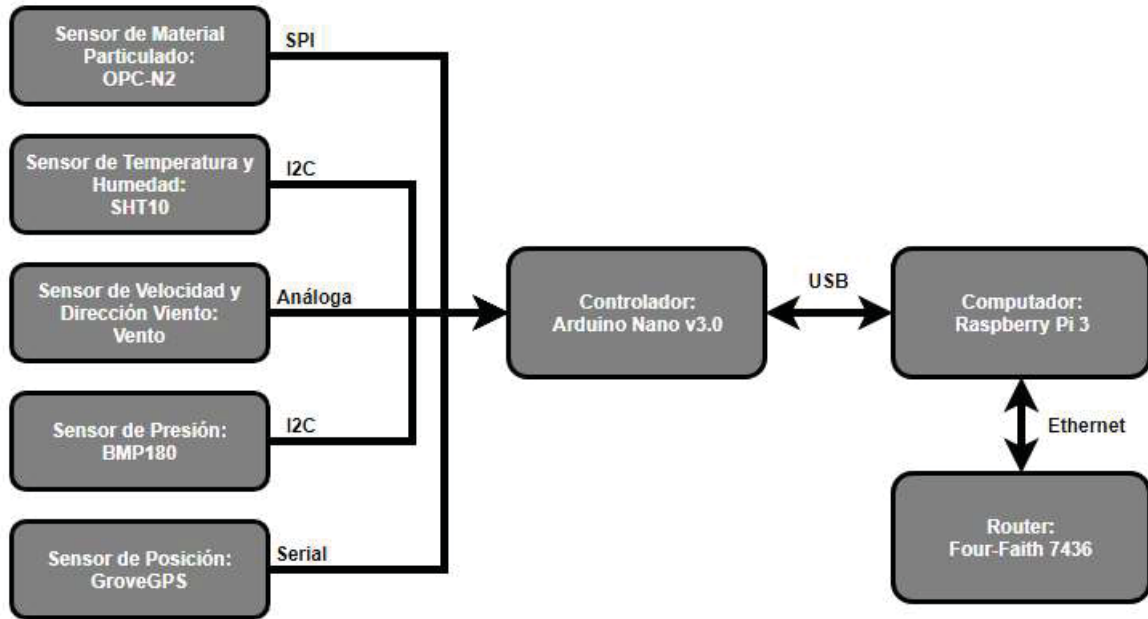


Figura 3-2: Esquema de funcionamiento.

- **Método de medición**

Para que la estación de monitoreo de calidad del aire tenga un impacto dentro de la minería, se buscará disminuir los tiempos de exposición de los trabajadores a los contaminantes del aire. La normativa establece promedios de medición dentro de 24 horas para ver si está en un máximo o mínimo, pero esto puede producir que el trabajador se encuentre expuesto mucho tiempo lo cual es perjudicial para su salud.

Con respecto a lo anterior, se realizarán mediciones cada 5 segundos de los contaminantes de material particulado y de los demás sensores, para hacer promedios de las últimas 24 muestras (para obtener los valores referenciales de los últimos 2 minutos), esto se realizó con la intención de avisar cuándo el ambiente se encuentra contaminado y no fue por un episodio en específico de corto tiempo. Así, con este método, se logra avisar solo cuando el ambiente tiene niveles altos de material particulado sostenido por más de un minuto.

Para identificar cuando los niveles se encuentran altos, se realizará una comparación con la normativa vigente vista en el capítulo 1 del presente documento.

- **Indicadores**

Para poder actuar de manera expedita frente a un alza de material particulado en el sector de trabajo, se pusieron dos balizas estroboscópicas para que se puedan apreciar de día y de noche con la misma claridad. Estas balizas se activarán y desactivarán mediante relés.

Con estas balizas, se pretende que los trabajadores del sector afectado puedan tomar las medidas correspondientes, tales como ponerse sus mascarillas respiratorias respectivas.

- **Base de datos**

Para toda estación de monitoreo, es importante el respaldo de los datos obtenidos en el transcurso del tiempo para realizar los análisis correspondientes. Estos pueden generar que mediante un análisis posterior se puedan realizar predicciones con respecto al comportamiento y procedencia de los contaminantes medidos.

Para nuestro proyecto, se realizarán dos bases de datos, una en la memoria interna de la Raspberry Pi 3, y otra externa que se ubicará en un servidor Web.

El análisis de la base de datos a utilizar se podrá apreciar de mejor manera en el capítulo 4 del presente proyecto.

Tal como se mencionaba en el “Esquema de funcionamiento”, la estación de monitoreo cuenta con sensores para material particulado, temperatura, humedad, presión, ubicación, velocidad y posición de viento. Por lo que, dentro de los siguientes apartados se explicará la conexión de los sensores y los comandos más esenciales del código que se utilizarán en el Arduino.

3.1.1 Sensor de material particulado OPC-N2

El principal sensor de la presente estación de monitoreo, es el OPC-N2 de la compañía Alphasense. Este dispositivo se conecta por comunicación SPI, por lo que dentro de la memoria interna del sensor se encuentra un archivo Excel y un archivo PDF donde se pueden ver los comandos y las especificaciones técnicas para interactuar con este.

Entre los principales comandos, podemos destacar los siguientes.

Tabla 3-3-1 Comandos sensor OPC-N2

Función	Byte de control	Byte(s) salida	Byte(s) entrada
Digital pot (alimentación de láser y ventilador) ON	0x03	0x03 0x00	0xF3 0x03
Digital pot (alimentación de láser y ventilador) OFF	0x03	0x03 0x01	0xF3 0x03
Leer histograma (y resetear histograma)	0x30	0x30 0x30	0xF3 Bin0 LSB

Cabe destacar que en la Tabla 3-3-1, la lectura del histograma entrega 64 bytes para estudio de las mediciones.

Para que la comunicación sea estable, Alphasense recomienda utilizar una comunicación SPI modo1, con referencia del MSB (most significant bit) y entre 250 [kHz] a 1 [MHz] [18].

Con el conocimiento necesario para hacer las primeras mediciones con un Arduino, se procede a realizar la conexión del sensor con el controlador según la siguiente tabla de datos.

Tabla 3-3-2 Pines sensor OPC-N2 para conectar con Arduino

OPC-N2 (pin)	Función	Arduino
1	VCC	5 [Vdc]
2	SCK	Pin 13
3	SDO	Pin 12
4	SDI	Pin 11
5	CS	Pin 10
6	GND	GND

3.1.2 Sensor de humedad y temperatura SHT10

Para el correcto funcionamiento del sensor, se siguen las recomendaciones indicadas en el datasheet entregado por MCIelectronics, donde explican la forma de conexión con el controlador [19].

Tabla 3-3-3 Datos de conexión del sensor SHT10 con Arduino

SHT10 (cable)	Función	Arduino
Rojo	VCC	5 [Vdc]
Negro	Data	Pin 8 (con resistor pullup)
Amarillo	Clock	Pin 9
Azul	GND	GND

Con los datos de la Tabla 3-3-3, se realiza la conexión que se ve en la siguiente figura.

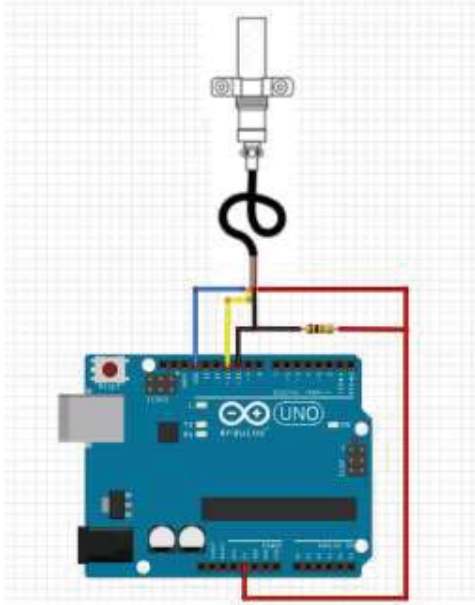


Figura 3-3: Conexión SHT10 con Arduino. (Fuente: Olimex)

Este sensor cuenta con comunicación I2C, pero en este caso, este cuenta con una librería la cual permite utilizar pines digitales del controlador para realizar mediciones. La parte de código correspondiente al sensor de temperatura es la siguiente:

Listado 3-3-1 Código sensor SHT10

```

1  #include <SHT1x.h>
2
3  SHT1x sht1x(8, 9);
4
5  float temp_c = sht1x.readTemperatureC();
6  float humedad = sht1x.readHumidity();

```

La librería necesaria se puede ver en la línea 1. En la línea 3 se define los pines de data y clock, y por último en las líneas 5 y 6 se obtienen directamente los datos de temperatura en grados Celsius y la humedad relativa en % con funciones que tiene la librería SHT1x.h.

3.1.3 Sensor de presión BMP180

Para medir la presión se utilizó el sensor BMP180, el cual tiene ejemplos de uso dentro del programa Arduino IDE. Considerando la información obtenida desde su hoja de datos, se procede a conectar el sensor por I2C tal como muestra la siguiente tabla [20].

Tabla 3-3-4 Datos de conexión del sensor BMP180 con Arduino

BMP180 (pin)	Función	Arduino
1	VCC	3.3 [Vdc]
2	GND	GND
3	SCL	A5
4	SDA	A4

Con los datos de la tabla 3-3-4, se realiza la conexión con el controlador Arduino para que se puedan realizar las mediciones respectivas.

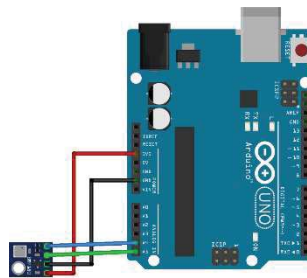


Figura 3-4: Conexión BMP180 con Arduino.

3.1.4 Sensor de posicionamiento GroveGPS

Este sensor cuenta con comunicación serial, en donde la tabla de conexión con el controlador es la siguiente:

Tabla 3-3-5 Datos de conexión del sensor GroveGPS con Arduino

GroveGPS(cable)	Función	Arduino
Rojo	VCC	5 [Vdc]
Negro	GND	GND
Blanco	RX	Pin 3
Amarillo	TX	Pin 2

Para el caso del groveGPS, hay muchas librerías que interactúan con el controlador Arduino, pero la que utilizaremos es la de TinyGPS, la cual facilita a la toma de datos directos con respecto a lo que se necesita, las cuales son: latitud, longitud, fecha y hora.

3.1.5 Sensor de velocidad y posición de viento ADCON

Este equipo cuenta con un cable por cada sensor, donde se encuentran las líneas de alimentación y una señal análoga de salida de 2,5 [Vdc] para cada cable. La conexión que se realizó entre este equipo y el controlador, la podemos observar en las siguientes tablas.

Tabla 3-3-6 Datos de conexión sensor ADCON (Velocidad) con Arduino

ADCON velocidad(cable)	Función	Arduino
Azul	VCC	5 [Vdc]
Café	Señal	A0
Amarillo	GND	GND

Tabla 3-3-7 Datos de conexión sensor ADCON (Posición) con Arduino

ADCON posición(cable)	Función	Arduino
Azul	VCC	5 [Vdc]
Blanco	Señal	A1
Amarillo	GND	GND

Como la señal de salida es del tipo análoga para ambos sensores (de 0 a 2,5 [Vdc]), basta con lecturas análogas típicas del Arduino IDE.

3.1.6 Diagrama de conexión

Conociendo como se conecta cada sensor por separado a nuestro controlador, se realizó un diagrama general de conexión, donde los sensores se alimentan por reguladores de voltaje y no directamente del Arduino Nano para no sobre cargarlo. Cabe destacar que el sensor de material particulado es sumamente sensible al ruido de la fuente de alimentación, es por esto que se tiene que alimentar directamente del controlador para que pueda realizar una comunicación estable.

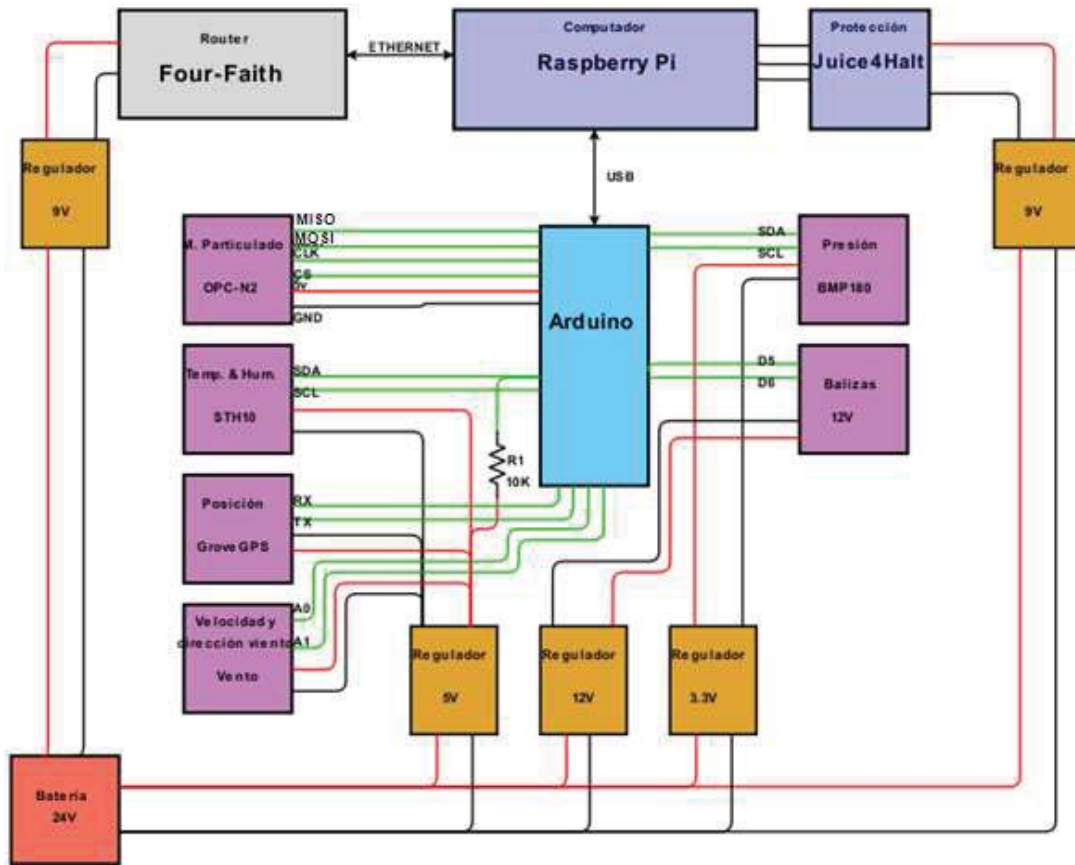


Figura 3-5: Diagrama de conexión general.

4 Procesamiento y base de datos

En este capítulo se explicarán las metodologías y herramientas para crear una base de datos y manipularla para que pueda ser traspasada de forma clara y concisa al usuario final.

4.1 Procesamiento de datos

El procesamiento de datos es la técnica que consiste en la recolección de los datos primarios de entrada, que son evaluados y ordenados, para obtener información útil, que luego serán analizados por el usuario final, para que pueda tomar las decisiones o realizar las acciones que estime conveniente.

En el campo de la ciencia o la ingeniería, los términos de procesamiento de datos y sistemas de información se consideran demasiado amplios, y el término más especializado, análisis de datos, es el que se utiliza normalmente. El análisis de los datos hace uso de algoritmos especializados y de alta precisión y cálculos estadísticos que con menor frecuencia se observan en el ambiente general de negocios típico.

Una divergencia de la cultura entre el procesamiento de datos y análisis de los datos se muestra por las representaciones numéricas generalmente utilizada, en el procesamiento de datos, las mediciones se almacenan típicamente como números enteros, de punto fijo o representaciones decimales codificados en binario de los números, mientras que la mayoría de las mediciones en el análisis de datos se almacenan como representaciones de punto flotante de números racionales.

- El procesamiento de datos tiene seis etapas: (Fuente: www.monigrafias.com)
 - **Origen:** Consiste en recoger los datos iniciales. Un registro original de datos recibe el nombre de "documento fuente". Ejemplo: pruebas calificadas de los estudiantes. Debe observarse que si se presenta alguna duda acerca de la nota final de un estudiante se puede regresar a los documentos originales (hojas de exámenes) y observar si se ha cometido algún error durante el procesamiento.
 - **Entrada:** Los datos iniciales de entrada se clasifican en forma conveniente para su procesamiento, dependiendo esto de la máquina que se emplee. Por ejemplo: cuando

se usan dispositivos electromecánicos, los datos de entrada se perforan en tarjetas y en las computadoras electrónicas los datos se registran en discos o cintas.

- **Procesamiento:** Durante el proceso se ejecutarán las operaciones necesarias para convertir los datos en información significativa. Cuando la información esté completa se ejecutará la operación de salida, en la que se prepara un informe que servirá como base para tomar decisiones.
- **Salida:** Se recopila los resultados obtenidos en el proceso. La forma de los datos de salida depende del empleo que se les vaya a dar a estos. Por ejemplo: Un resumen impreso de ventas para la gerencia o simplemente datos que se deben almacenar para procesamientos posteriores.
- **Distribución o Envío:** Los registros de los datos de salida se denominan "Documentos de informe o reporte". Por ejemplo: Las hojas que se envían a registro técnico. Los documentos de información pueden llegar a ser documentos fuente para futuros procesamientos.
- **Almacenamiento:** Los resultados del proceso se almacenan para utilizarlos posteriormente como datos de entrada. Un conjunto unificado de datos en almacenamiento se denomina "archivo". "Una base de datos" es un conjunto estructurado de archivos.

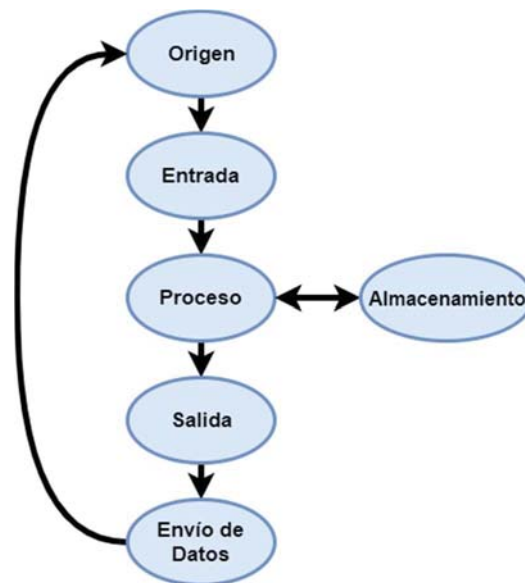


Figura 4-1: Esquema de procesamiento de datos.

4.1.1 Muestreo

En la referencia estadística se conoce como muestreo a la técnica para la selección de una muestra a partir de una población estadística. [21]

Al elegir una muestra aleatoria se espera conseguir que sus propiedades sean extrapolables a la población. Este proceso permite ahorrar recursos, y a la vez obtener resultados parecidos a los que se alcanzarían si se realizase un estudio de toda la población. En las investigaciones llevadas por empresarios o en la medicina, se usa muestreo extensivamente en recoger información sobre poblaciones. [22]

Cabe mencionar que para que el muestreo sea válido y se pueda realizar un estudio adecuado (que consienta no solo hacer estimaciones de la población sino estimar también los márgenes de error correspondientes a dichas estimaciones), debe cumplir ciertos requisitos. Nunca podremos estar enteramente seguros de que el resultado sea una muestra representativa, pero sí podemos actuar de manera que esta condición se alcance con una probabilidad alta.

En el muestreo, si el tamaño de la muestra es más pequeño que el tamaño de la población, se puede extraer dos o más muestras de la misma población. Al conjunto de muestras que se pueden obtener de la población se denomina espacio muestral. La variable que asocia a cada muestra su probabilidad de extracción, sigue la llamada distribución muestral. (Fuente: Universidad de Antioquía)

Para el caso de la estación de monitoreo, es de gran importancia ver como se están realizando las muestras para estudios futuros, es por esto que se debe identificar que técnica de muestreo realizan nuestros sensores. Dentro de la estación de monitoreo, el sensor que realiza muestras es el de material particulado, ya que succiona por una entrada de aire gracias a un ventilador externo, y por el mismo ventilador, devuelve las partículas al ambiente.



Figura 4-2: Esquema de muestreo.

4.1.2 Técnicas de muestreo

Existen dos métodos para seleccionar muestras de poblaciones: el muestreo no aleatorio o de juicio y el muestreo aleatorio (que incorpora el azar como recurso en el proceso de selección). Cuando este último cumple con la condición de que todos los elementos de la población tienen alguna oportunidad de ser escogidos en la muestra, si la probabilidad correspondiente a cada sujeto de la población es conocida de antemano, recibe el nombre de muestreo probabilístico. Una muestra seleccionada por muestreo de juicio puede basarse en la experiencia de alguien con la población. Algunas veces una muestra de juicio se usa como guía o muestra tentativa para decidir cómo tomar una muestra aleatoria más adelante.

A continuación se presentarán los siguientes métodos de muestreo: muestreo aleatorio simple, sistemático, estratificado, por etapas múltiples, por conglomerados y heterogeneidad de las poblaciones o sus subgrupos.

- **Muestreo aleatorio simple:** Forman parte de este tipo de muestreo todos aquellos métodos para los que se puede calcular la probabilidad de extracción de cualquiera de las muestras posibles. Este conjunto de técnicas de muestreo es el más aconsejable, aunque en ocasiones no es posible optar por él.
 - **Sin reposición de los elementos:** Cada elemento extraído se descarta para la subsiguiente extracción. Por ejemplo, si se extrae una muestra de una "población" de bombillas para estimar la vida media de las bombillas que la integran, no será posible medir más que una vez la bombilla seleccionada.
 - **Con reposición de los elementos:** Las observaciones se realizan con remplazo de los individuos, de forma que la población es idéntica en todas las extracciones. En poblaciones muy grandes, la probabilidad de repetir una extracción es tan pequeña que el muestreo puede considerarse con reposición aunque, realmente, no lo sea.
 - **Con reposición múltiple:** En poblaciones muy grandes, la probabilidad de repetir una extracción es tan pequeña que el muestreo puede considerarse con reposición. Para realizar este tipo de muestreo, y en determinadas situaciones, es muy útil la extracción de números aleatorios mediante ordenadores, calculadoras o tablas construidas al efecto.
- **Muestreo sistemático:** Se utiliza cuando el universo o población es de gran tamaño, o ha de extenderse en el tiempo. Primero, hay que identificar las unidades y relacionarlas con el calendario (cuando proceda). Luego, hay que calcular una constante, denominada coeficiente de elevación:

$$K = \frac{N}{n} \quad (4-1)$$

Donde N es el tamaño de la población y n el tamaño de la muestra.

Para determinar en qué fecha se producirá la primera extracción, hay que elegir al azar un número entre 1 y K ; de ahí en adelante tomar uno de cada K a intervalos regulares. Ocasionalmente, es conveniente tener en cuenta la periodicidad del fenómeno.

Esto quiere decir que si tenemos un determinado número de personas que es la población (N) y queremos escoger de esa población un número más pequeño el cual es la muestra (n), dividimos el número de la población por el número de la muestra que queremos tomar y el resultado de esta operación será el intervalo, entonces escogemos un número al azar desde uno hasta el número del intervalo, y a partir de este número escogemos los demás siguiendo el orden.

- **Muestreo estratificado:** Consiste en la división previa de la población de estudio en grupos o clases que se suponen homogéneos con respecto a alguna característica de las que se van a estudiar. A cada uno de estos estratos se le asignaría una cuota que determinaría el número de miembros del mismo que compondrán la muestra. Dentro de cada estrato se suele usar la técnica de muestreo sistemático, una de las técnicas de selección más usadas en la práctica.

Según la cantidad de elementos de la muestra que se han de elegir de cada uno de los estratos, existen dos técnicas de muestreo estratificado:

- **Asignación proporcional:** el tamaño de la muestra dentro de cada estrato es proporcional al tamaño del estrato dentro de la población.
- **Asignación óptima:** la muestra recogerá más individuos de aquellos estratos que tengan más variabilidad. Para ello es necesario un conocimiento previo de la población.

Por ejemplo, para un estudio de opinión, puede resultar interesante estudiar por separado las opiniones de hombres y mujeres pues se estima que, dentro de cada uno de estos grupos, puede haber cierta homogeneidad. En la asignación proporcional, si la población está compuesta de un 55% de mujeres y un 45 % de hombres, se tomaría una muestra que contenga también esos mismos porcentajes de hombres y mujeres. En la asignación óptima, si todos los hombres piensan igual, pero las mujeres son impredecibles, se tomaría una muestra con más del 55% de mujeres.

Para una descripción general del muestreo estratificado y los métodos de inferencia asociados con este procedimiento, suponemos que la población está dividida en h subpoblaciones o estratos de tamaños conocidos N_1, N_2, \dots, N_h tal que las unidades en cada estrato sean homogéneas respecto a la característica en cuestión. La media y la varianza desconocidas para el i -ésimo estrato son denotadas por m_i y s_i^2 , respectivamente.

- **Muestreo por etapas múltiples:** Esta técnica es la única opción cuando no se dispone de lista completa de la población de referencia o bien cuando por medio de la técnica de muestreo simple o estratificado se obtiene una muestra con unidades distribuidas de tal forma que resultan de difícil acceso. En el muestreo a estudios múltiples se subdivide la población en varios niveles ordenados que se extraen sucesivamente por medio de un procedimiento de embudo. El muestreo se desarrolla en varias fases o extracciones sucesivas para cada nivel.

Por ejemplo, si tenemos que construir una muestra de profesores de primaria en un país determinado, estos pueden subdividirse en unidades primarias representadas por circunscripciones didácticas y unidades secundarias que serían los propios profesores. En primer lugar extraemos una muestra de las unidades primarias (para lo cual debemos tener la lista completa de estas unidades) y en segundo lugar extraemos aleatoriamente una muestra de unidades secundarias de cada una de las primarias seleccionadas en la primera extracción.

- **Muestreo por conglomerados:** Se utiliza cuando la población se encuentra dividida, de manera natural, en grupos que se supone que contienen toda la variabilidad de la población, es decir, la representan fielmente respecto a la característica a elegir, pueden seleccionarse solo algunos de estos grupos o conglomerados para la realización del estudio.

Dentro de los grupos seleccionados se ubicarán las unidades elementales, por ejemplo, las personas a encuestar, y podría aplicársele el instrumento de medición a todas las unidades, es decir, a los miembros del grupo, o solo se le podría aplicar a algunos de ellos, seleccionados al azar. Este método tiene la ventaja de simplificar la recogida de información muestral.

Cuando, dentro de cada conglomerado seleccionado, se extraen algunos individuos para integrar la muestra, el diseño se llama muestreo bietápico.

Las ideas de estratos y conglomerados son, en cierto sentido, opuestas. El primer método funciona mejor cuanto más homogénea es la población respecto del estrato, aunque más diferentes son estos entre sí. En el segundo, ocurre lo contrario. Los conglomerados deben presentar toda la variabilidad, aunque deben ser muy parecidos entre sí.

- **Homogeneidad de las poblaciones o sus subgrupos:** Homogéneo significa, en el contexto de la estratificación, que no hay mucha variabilidad. Los estratos funcionan mejor cuanto más homogéneos son cada uno de ellos respecto a la característica a medir. Por ejemplo, si se estudia la estatura de una población, es bueno distinguir entre los estratos mujeres y hombres porque se espera que, dentro de ellos, haya menos variabilidad, es decir, sean menos heterogéneos. Dicho de otro modo, no hay tantas diferencias entre unas estaturas y otras dentro del estrato que en la población total.

Por el contrario, la heterogeneidad hace inútil la división en estratos. Si se dan las mismas diferencias dentro del estrato que en toda la población, no hay por qué usar este método de muestreo. En los casos en los que existan grupos que contengan toda la variabilidad de la población, lo que se construyen son conglomerados, que ahorran algo del trabajo que supondría analizar toda la población. En resumen, los estratos y los conglomerados funcionan bajo principios opuestos: los primeros son mejores cuanto más homogéneo es el grupo respecto a la característica a estudiar y los conglomerados, si representan fielmente a la población, esto es, contienen toda su variabilidad, o sea, son heterogéneos.

El espacio muestral es un conjunto formado por todos los resultados posibles de un experimento aleatorio. Por ejemplo: al lanzar un dado no cargado el espacio muestral del dado sería: {1, 2, 3, 4, 5, 6}.

En base a las técnicas de muestreo anteriormente expuestas, se puede deducir que el sensor de material particulado que se utilizará (OPC-N2 de la compañía Alphasense) utiliza un muestreo aleatorio simple con reposición, puesto que cada cierto intervalo de tiempo, toma una muestra, la analiza y la devuelve al ambiente desde donde fue tomada la muestra.

Este sensor está diseñado para que la frecuencia máxima de muestreo sea de 1 segundo, lo cual ayuda considerablemente en la obtención de datos para cumplir con normativas y ayuda a que los trabajadores se encuentren menos tiempo expuestos al material particulado (MP10 y MP2.5).

4.1.3 Adquisición y Análisis de Datos.

La adquisición y análisis de datos es fundamental para la implementación en terreno de la estación de monitoreo, puesto que al tomar datos dentro de un lapsus de tiempo, debe saber tomar decisiones sobre el estado del ambiente en dicho sector. Todo este análisis debe contrastarse con los valores que se entregan en las normativas ambientales.

- **Adquisición de datos:** La adquisición de datos o adquisición de señales consiste en la toma de muestras del mundo real (sistema analógico) para generar datos que puedan ser manipulados por un ordenador u otras electrónicas (sistema digital). Consiste en tomar un conjunto de señales físicas, convertirlas en tensiones eléctricas y digitalizarlas de manera que se puedan procesar en una computadora o PAC. Se requiere una etapa de acondicionamiento, que adecua la señal a niveles compatibles con el elemento que hace la transformación a señal digital. El elemento que hace dicha transformación es el módulo de digitalización o tarjeta de adquisición de datos (DAQ). (Fuente: gstechnology.com.ar)

Dentro de la adquisición de datos, se tienen las siguientes definiciones:

- **Dato:** Representación simbólica (numérica, alfabética...), atributo o característica de un valor. No tiene sentido en sí mismo, pero convenientemente tratado (procesado) se puede utilizar en la relación de cálculos o toma de decisiones.

- **Adquisición:** Recogida de un conjunto de variables físicas, conversión en voltaje y digitalización de manera que se puedan procesar en un ordenador.
- **Sistema:** Conjunto organizado de dispositivos que interactúan entre sí ofreciendo prestaciones más completas y de más alto nivel. Una vez que las señales eléctricas se transformaron en digitales, se envían a través del bus de datos a la memoria del PC. Una vez los datos están en memoria pueden procesarse con una aplicación adecuada, archivarlas en el disco duro, visualizarlas en la pantalla, etc.
- **Bit de resolución:** Número de bits que el convertidor analógico a digital (ADC) utiliza para representar una señal.
- **Rango:** Valores máximo y mínimo entre los que el sensor, instrumento o dispositivo funcionan bajo unas especificaciones.
- **Teorema de Nyquist:** Al muestrear una señal, la frecuencia de muestreo debe ser mayor que dos veces el ancho de banda de la señal de entrada, para poder reconstruir la señal original de forma exacta a partir de sus muestras. En caso contrario, aparecerá el fenómeno del aliasing que se produce al infra-muestrear. Si la señal sufre aliasing, es imposible recuperar el original.

La adquisición de datos se inicia con el fenómeno físico o la propiedad física de un objeto (objeto de la investigación) que se desea medir. Esta propiedad física o fenómeno podría ser el cambio de temperatura o la temperatura de una habitación, la intensidad o intensidad del cambio de una fuente de luz, la presión dentro de una cámara, la fuerza aplicada a un objeto, o muchas otras cosas. Un eficaz sistema de adquisición de datos puede medir todas estas diferentes propiedades o fenómenos.

Un sensor es un dispositivo que convierte una propiedad física o fenómeno en una señal eléctrica correspondiente medible, tal como tensión, corriente, el cambio en los valores de resistencia o condensador, etc. La capacidad de un sistema de adquisición de datos para medir los distintos fenómenos depende de los transductores para convertir las señales de los fenómenos físicos mensurables en la adquisición de datos por hardware. El término transductores es sinónimo de sensores en sistemas de DAQ. Hay transductores específicos para diferentes aplicaciones, como la medición de la temperatura, la presión, o flujo de fluidos. DAQ también despliega diversas técnicas de acondicionamiento de Señales para modificar adecuadamente diferentes señales eléctricas en tensión, que luego pueden ser digitalizados usando CED.

Las señales pueden ser digitales (también llamada señales de la lógica) o analógicas en función del transductor utilizado.

aparte de leer las tramas de datos, los procesa y transforma a valores conocidos y en las unidades que necesitamos contrastar. Por ejemplo, la temperatura se entregará en grados Celsius, la presión en atmósfera, etcétera.

Una vez realizadas las mediciones y transformadas a los valores conocidos, se encadenarán en una sola trama de datos la cual será enviada a una Raspberry Pi 3, encargada de analizar la cadena de datos del Arduino.

4.1.4 Procesamiento y almacenamiento de datos

Los datos son un conjunto de hechos, es decir unidades individuales de información. Estos datos pueden ser:

- Numéricos: Dentro de estos tenemos: reportes de ventas, cifras de los inventarios, notas en los exámenes, etcétera.
- No Numéricos: Dentro de estos tenemos: nombres y direcciones de los clientes, las fotografías, los dibujos, los mapas, etcétera.

El "procesamiento de datos" es el manejo de estos datos en una forma más útil. Incluye operaciones por medio de una máquina (ordenador) o manualmente, como cálculos numéricos, clasificación y transmisión de datos de un lugar a otro, etcétera. Los sistemas de procesamiento de datos se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Sistema de procesamiento de datos por tarjetas perforadas. (1980 se utilizó en Estados Unidos).
- Sistema de procesamiento electrónico de datos (1940). Este ha pasado por diversas etapas de desarrollo o generaciones y ha hecho obsoleto al sistema de procesamiento de datos por tarjetas perforadas. La "información" es definida como los datos ya procesados.
- **Procesamiento de datos:** el procesamiento de datos tiene operaciones fundamentales, tales como: (Fuente: www.monografias.com)
 - **Registro:** Tiene que ver con la transferencia de los datos a alguna forma de documento normalizado en todo el ciclo de procesamiento. Por ejemplo: un profesor anota en su lista los puntos obtenidos por los estudiantes y al terminar el semestre calcula las notas finales y las anota en su lista. Recibe un acta y coloca ahí las calificaciones finales, las registra en la hoja de calificaciones que se envía al estudiante y luego hace entrega del acta a la oficina respectiva.
 - **Duplicación:** Consiste en reproducir los datos en muchos documentos o formas. Ejemplo: se puede registrar un informe mecanografiándolo y al mismo tiempo sacar copias con papel carbón. En otro caso digitándolo en la computadora luego imprimir y fotocopiar en documento.

- **Verificación:** Consiste en comprobar cuidadosamente los datos para evitar cualquier error. Ejemplo: los informes escritos a máquina se pueden volver a leer para corregirlos.
- **Separación:** Se separa los datos en varias categorías. Ejemplo: un grupo de cuestionarios para los estudiantes, se pueden separar según el sexo o por cursos.
- **Clasificación:** En la organización de los datos en un orden específico. Ejemplo: los nombres de la lista telefónica se han clasificado en orden alfabético. En este caso, los datos son clasificados sin separar. La clasificación también se puede efectuar después de la separación. Otro ejemplo: un archivo de registro de empleados contiene nombre, número del seguro social y lugar de trabajo. Si hay que clasificar el archivo de acuerdo con el orden alfabético de los nombres, al "campo del nombre" se le denomina "CLAVE".
- **Intercalación:** Se toman dos o más conjuntos de datos que han sido clasificados con la misma clave y se resumen para formar un solo conjunto de datos: Por ejemplo, dos paquetes de tarjetas clasificadas numéricamente, las mismas que se están intercalando y archivando en el paquete combinado durante el paso de las tarjetas. Si las tarjetas tienen el mismo número, una sub-regla determina cual se debe archivar. Cuando un paquete queda vacío las tarjetas del otro se colocan al final del paquete combinado.
- **Cálculo:** La palabra cálculo se refiere al cómputo, cuenta o investigación que se hace de algo por medio de operaciones matemáticas. El concepto también se utiliza como sinónimo de conjetura. Es la ejecución de cálculos numéricos sobre los datos.
- **Recuperación:** La recuperación de datos hace referencia a las técnicas empleadas para recuperar archivos que han sido perdidos o eliminados de algún medio de almacenamiento.
- **Almacenamiento:** el almacenamiento es la propiedad o capacidad de guardar datos que tiene un dispositivo electrónico. Computadoras, teléfonos celulares, tabletas, televisores smart, calculadoras, consolas de videojuegos y demás dispositivos electrónicos tienen esta propiedad, la cual es muy útil no solo para guardar datos sino también para procesarlos.

Existen dispositivos electrónicos que no tienen capacidad de almacenamiento de ningún tipo, como un control remoto y, algunos, solo tienen almacenamiento temporal, dado que necesitan de alguna memoria para guardar datos mientras realiza cálculos o procesa datos.

Con el correr de los años, el almacenamiento de datos informáticos ha ido bajando de precio. Por ejemplo, 1 [GB] de memoria en 1956 costaba 8,2 millones de dólares. En 1980, 184 mil dólares; en 1990 eran 5.200 dólares; en 2000 eran 12 dólares, y en 2006 fueron 1,2 dólares.

Si una computadora no cuenta con dispositivos de almacenamiento se considera terminal tonta o gregaria (dumb terminal). En las computadoras existen dos tipos de almacenamiento.

- **Almacenamiento primario:** que son los que usa la CPU directamente (memoria principal, memoria caché, etcétera).
- **Almacenamiento secundario:** a los cuales la CPU no accede directamente, sino que deben almacenarse previamente en uno primario. Son de almacenamiento secundario los discos magnéticos, ópticos, cintas magnéticas, tambores magnéticos, etcétera.



Figura 4-4: Unidades de almacenamiento de información. (Fuente: PxHere)

Principalmente el almacenamiento de datos, se usa para hacer respaldo de la información (Backup) para que en casos de pérdida de esta, pueda ser recuperada.

Para la estación de monitoreo, la Raspberry Pi 3 contará con una memoria interna de 16 [GB] en la cual se puede almacenar un porcentaje de los datos obtenidos, con la finalidad de que posterior a ser procesador por el Arduino, la información sea almacenada de forma local y a su vez se envía a una base de datos.

4.2 Normalización de datos

Para que se pueda contrastar con la normativa, los datos que mide el sensor de material particulado (OPC-N2 de Alphasense) deben normalizarse. Para esto se realizaron mediciones en conjunto con el sensor validado en los sectores mineros, DustMate.

La prueba que se realizó, fue poner a medir el mismo ambiente a ambos sensores para posteriormente buscar un factor de normalización. A los sensores se les pusieron mangueras

idénticas del mismo largo para que las condiciones de la prueba fuesen lo más similares posible. El ambiente diseñado para esto, fue una caja con tierra, la cual se aprecia en la Figura 4-5.



Figura 4-5: Fotografía de la prueba realizada.

Esta caja recibió perturbaciones cada ciertos momentos durante aproximadamente 15 minutos, y se obtuvieron 582 muestras por sensor. El resultado se puede ver en la gráfica de la Figura 4-6.

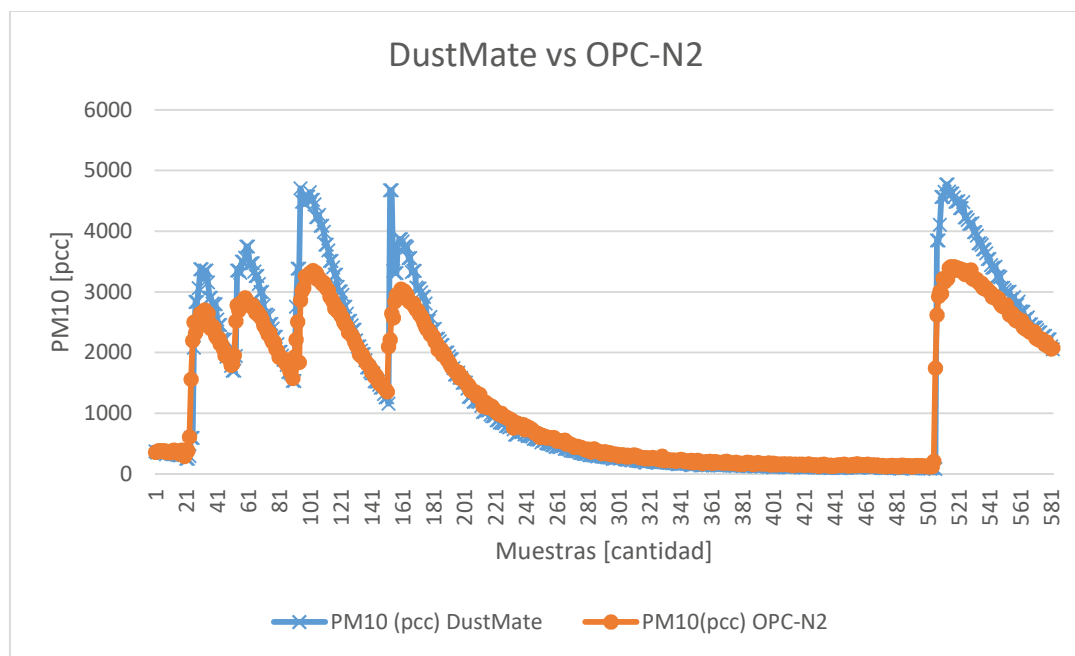


Figura 4-6: Gráfico comparativo de mediciones.

Para poder normalizar el sensor y cumplir con las normativas, se procede a buscar un factor K que aproxime las mediciones del sensor OPC-N2 a las del sensor DustMate.

Para hacer este cálculo, se toman los valores de PM10 más distantes entre el sensor OPC-N2 y DustMate, lo cual nos da un factor K aproximado de 1,5. Este factor se multiplica a la medición obtenida por el sensor OPC-N2 y el resultado se puede apreciar en la gráfica de la Figura 4-7.

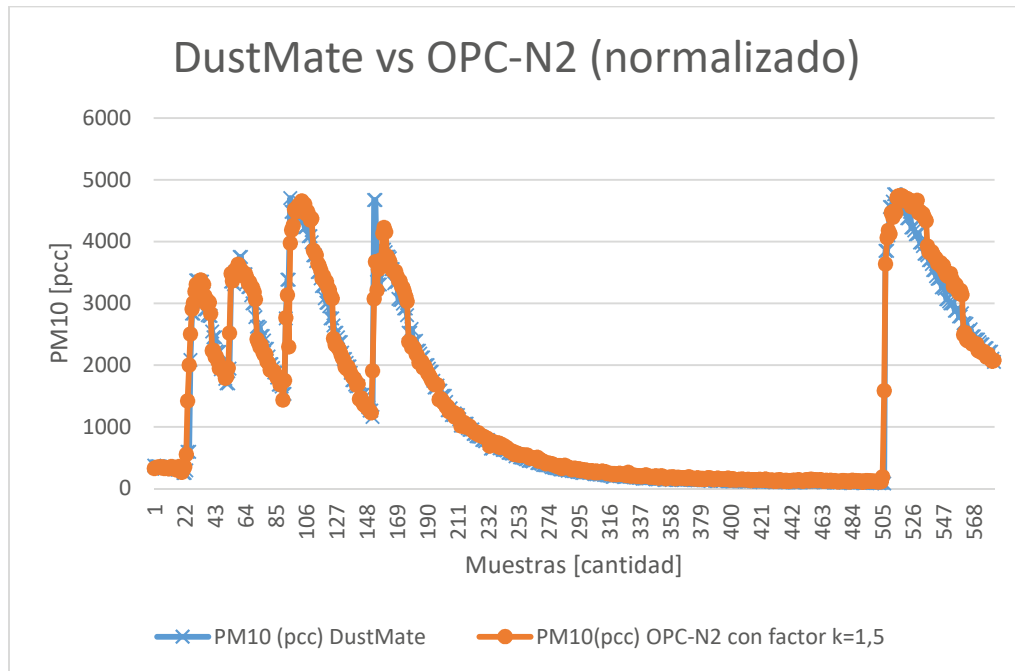


Figura 4-7: Gráfico comparativo de mediciones (con OPC-N2 normalizado).

Se puede apreciar con claridad que las gráficas se superponen, logrando que las mediciones sean prácticamente iguales, por lo cual se puede decir que el sensor OPC-N2 se encuentra normalizado y listo para almacenar en la base de datos.

4.3 Base de datos

Una base de datos o banco de datos es un conjunto de datos pertenecientes a un mismo contexto y almacenados sistemáticamente para su posterior uso. En este sentido, una biblioteca puede considerarse una base de datos compuesta en su mayoría por documentos y textos impresos en papel e indexados para su consulta. Actualmente, y debido al desarrollo tecnológico de campos como la informática y la electrónica, la mayoría de las bases de datos están en formato digital, siendo este un componente electrónico, por tanto se ha desarrollado y se ofrece un amplio rango de soluciones al problema del almacenamiento de datos.

Existen programas denominados sistemas gestores de bases de datos, abreviado SGBD (del inglés database management system o DBMS), que permiten almacenar y posteriormente acceder a los datos de forma rápida y estructurada. Las propiedades de estos DBMS, así como su utilización y administración, se estudian dentro del ámbito de la informática.

Las aplicaciones más usuales son para la gestión de empresas e instituciones públicas. También son ampliamente utilizadas en entornos científicos con el objeto de almacenar la información experimental. (Fuente: Universidad Católica del Maule)

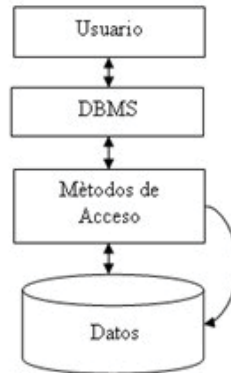


Figura 4-8: Esquema de acceso del usuario a los datos. (Fuente: Wikipedia)

Aunque las bases de datos pueden contener muchos tipos de datos, algunos de ellos se encuentran mutuamente protegidos por las leyes de varios países. Por ejemplo en España, los datos personales se encuentran protegidos por la Ley Orgánica de Protección de Datos de Carácter Personal (LOPD), en México por la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública Gubernamental y en Argentina la Ley de Protección de Datos Personales. [24]

- **MySQL:** Es un sistema de gestión de bases de datos relacional desarrollado bajo licencia dual GPL/Licencia comercial por Oracle Corporation y está considerada como la base de datos open source más popular del mundo y una de las más populares en general junto a Oracle y Microsoft SQL Server, sobre todo para entornos de desarrollo web.

MySQL fue inicialmente desarrollado por MySQL AB (empresa fundada por David Axmark, Allan Larsson y Michael Widenius). MySQL A.B. fue adquirida por Sun Microsystems en 2008, y esta a su vez fue comprada por Oracle Corporation en 2010, la cual ya era dueña desde 2005 de InnoDB Oy, empresa finlandesa desarrolladora del motor InnoDB para MySQL.

Al contrario de proyectos como Apache, donde el software es desarrollado por una comunidad pública y los derechos de autor del código están en poder del autor individual, MySQL es patrocinado por una empresa privada, que posee el copyright de la mayor parte del código. Esto es lo que posibilita el esquema de doble licenciamiento anteriormente mencionado. La base de datos se distribuye en varias versiones, una Community, distribuida bajo la Licencia pública general de GNU, versión 2, y varias versiones Enterprise, para aquellas empresas que quieran incorporarlo en productos privados. Las versiones *Enterprise* incluyen productos o servicios adicionales tales como herramientas de monitorización y soporte oficial. En 2009 se creó

un fork denominado MariaDB por algunos desarrolladores (incluido algunos desarrolladores originales de MySQL) descontentos con el modelo de desarrollo y el hecho de que una misma empresa controle a la vez los productos MySQL y Oracle Database. [25]

Está desarrollado en su mayor parte en ANSI C y C++. Tradicionalmente se considera uno de los cuatro componentes de la pila de desarrollo LAMP y WAMP.

MySQL es usado por muchos sitios web grandes y populares, como: Wikipedia, Google (aunque no para búsquedas), Facebook, Twitter, Flickr, y YouTube.

4.3.1 Aplicación en la estación de monitoreo

La información obtenida de los sensores, desde que se leen por el controlador hasta que se entregan al cliente, tienen un camino de filtros y procesos, que se pueden ver en el diagrama de flujo de la Figura 4-9 para la parte del controlador y Figura 4-10 para la parte del computador.

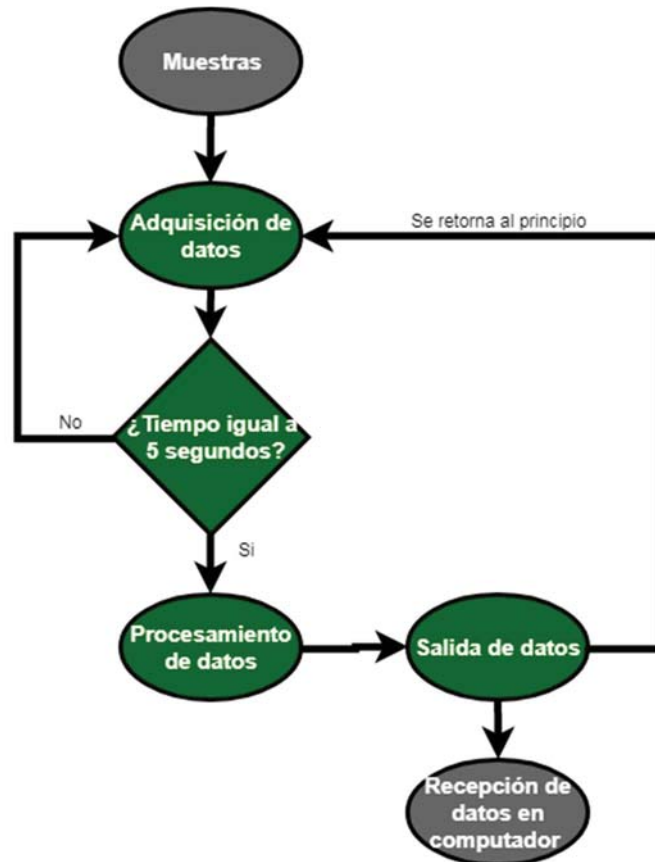


Figura 4-9: Diagrama de flujo de datos dentro del controlador.

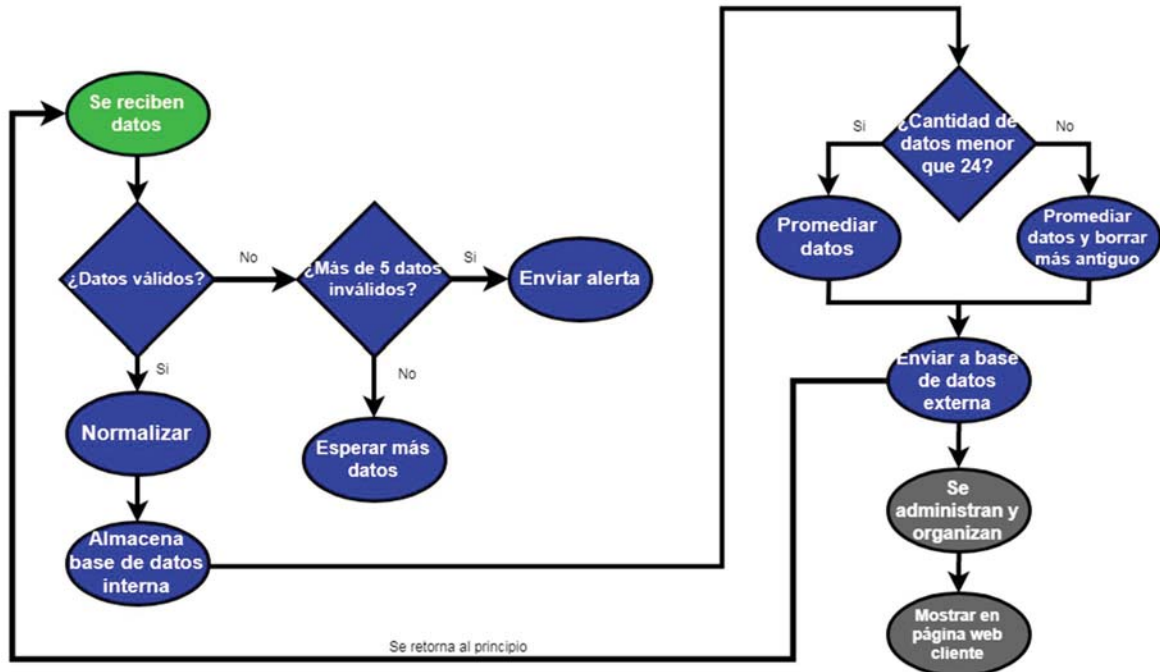


Figura 4-10: Diagrama de flujo de datos dentro del computador (azul) y salida a la BD web (gris).

Cada vez que los datos llegan al computador, este analiza si los datos recibidos son correctos para poder avisar en casos de problemas si la estación está funcionando de manera errónea. Una vez corroborado que los datos que entran al computador son correctos, se proceden a normalizar para posteriormente ser almacenados en la memoria interna de este. El límite de datos a promediar es 24, por lo que cuando se llega al tope de esta cantidad, se borra el dato más antiguo para tener referencia siempre de los últimos 2 minutos de medición (24 muestras cada 5 segundos).

En la Raspberry Pi 3 hay un script realizado en python el cual se encarga de 2 funciones principalmente. Su primera función es hacer el registro de datos de forma interna, por otro lado, su segunda función es enviar los datos hacia la plataforma web. Estos datos son transmitidos con tramas JSON (acrónimo de JavaScript Object Notation) el cual es un formato de texto ligero para el intercambio de datos. Estas tramas se transmiten a través de HTTP(s) (conexiones encriptadas) por mayor seguridad.

Una vez enviado los datos, se levanta un servidor web (Apache 2) el cual tiene la función de comunicar las solicitudes realizadas en HTTP hacia Symfony, y entregar la información otorgada por Symfony al que ha generado la solicitud. Symfony es la herramienta que interactúa con la base de datos online, para poder mostrar la información en una interfaz web.

Para que la base de datos se pueda conectar con la plataforma web, y entender mejor lo comentado anteriormente, se tiene el diagrama que se muestra en la Figura 4-11.

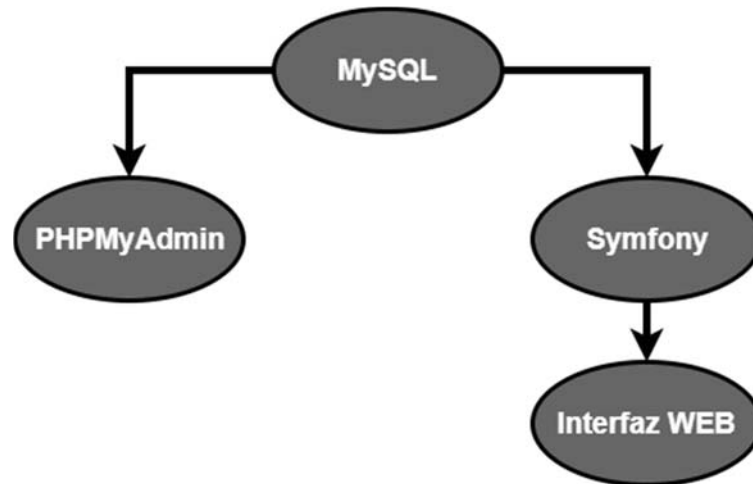


Figura 4-11: Diagrama de la base de datos.

MySQL es una herramienta que permite crear base de datos de manera rápida y sencilla. Esta herramienta está siendo utilizada para crear la base de datos interna y externa del computador embebido.

Para almacenar los datos de forma interna y externa se utiliza la tabla que se aprecia en la Figura 4-12.

dustbuster.station_data	
id	int(11)
station	int(11)
date	datetime
received	datetime
latitude	double
longitude	double
humidity	double
temperature	double
pressure	double
windspeed	double
winddirection	int(11)
pm10pcc	double
pm25pcc	double
pm1pcc	double
pm10ugm3	double
pm25ugm3	double
pm1ugm3	double

Figura 4-12: Tabla de almacenamiento de datos.

Para administrar esta base de datos, se utiliza “phpMyAdmin”, la cual es una interfaz gráfica que facilita la administración de la base de datos MySQL a través de páginas web utilizando internet. Esta herramienta permite crear y eliminar base de datos, crear, eliminar y alterar tablas, borrar,

editar y añadir campos entre otras opciones. Esta herramienta solo se utiliza por el administrador de sistema para que pueda gestionar de forma correcta la información que se está respaldando de la estación de monitoreo. [26]

Como ya conocemos como se crea y administra la base de datos, pasamos a explicar la función que tiene Symfony en nuestro sistema. Symfony es un framework diseñado para optimizar el desarrollo de aplicaciones web basado en el patrón de “Modelo Vista Controlador”.

El patrón de “Modelo Vista Controlador” (MVC) es un patrón de arquitectura de software, que separa los datos y la lógica de negocio de una aplicación de la interfaz de usuario y el módulo encargado de gestionar los eventos y las comunicaciones. Para ello MVC propone la construcción de tres componentes distintos que son el “modelo”, la “vista” y el “controlador”, es decir, por un lado define los componentes para la representación de la información y por otro lado pasa a la interacción del usuario. Este patrón se puede ver mejor reflejado en la Figura 4-13.



Figura 4-13: Diagrama del patrón MVC. (Fuente: Rodrigo Gómez)

Para resumir, el “modelo” es la representación de la información con la cual el sistema opera, por lo tanto gestiona todos los accesos a dicha información; el “controlador”, responde a eventos (usualmente acciones del usuario) e invoca peticiones al “modelo” cuando hace alguna solicitud de la información; por último, la “vista”, presenta el “modelo” en un formato adecuado para interactuar (usualmente la interfaz de usuario), por lo tanto requiere de dicho “modelo” la información que debe representar como salida.

Gracias a esto, Symfony permite que la visualización de la interfaz WEB, pueda verse como se aprecia en la Figura 4-14.



Figura 4-14: Visualización página Web.

En la Figura 4-14, se puede apreciar el mapa de la minera Spence, en donde estará ubicada la estación de monitoreo, con su posicionamiento gracias al GPS que esta tiene incorporado. Esta página WEB, cuenta con una pestaña llamada datos de la cual también se encuentra a cargo Symphony, la cual utiliza una “vista” junto a las bibliotecas NVD3 y HighCharts que utilizan una combinación de Javascript y CCS para producir gráficas en la página web, tales como las que se pueden apreciar en la Figura 4-15 y Figura 4-16.

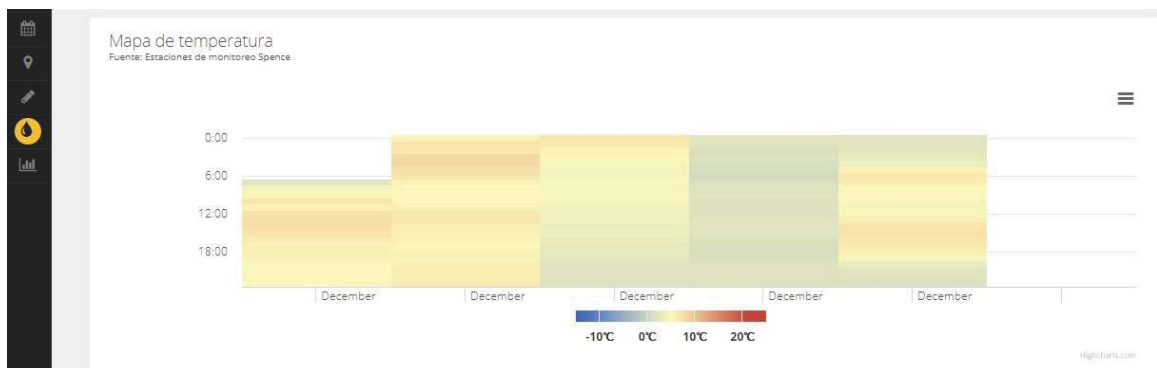


Figura 4-15: Gráfico de temperatura visualizado desde la web.

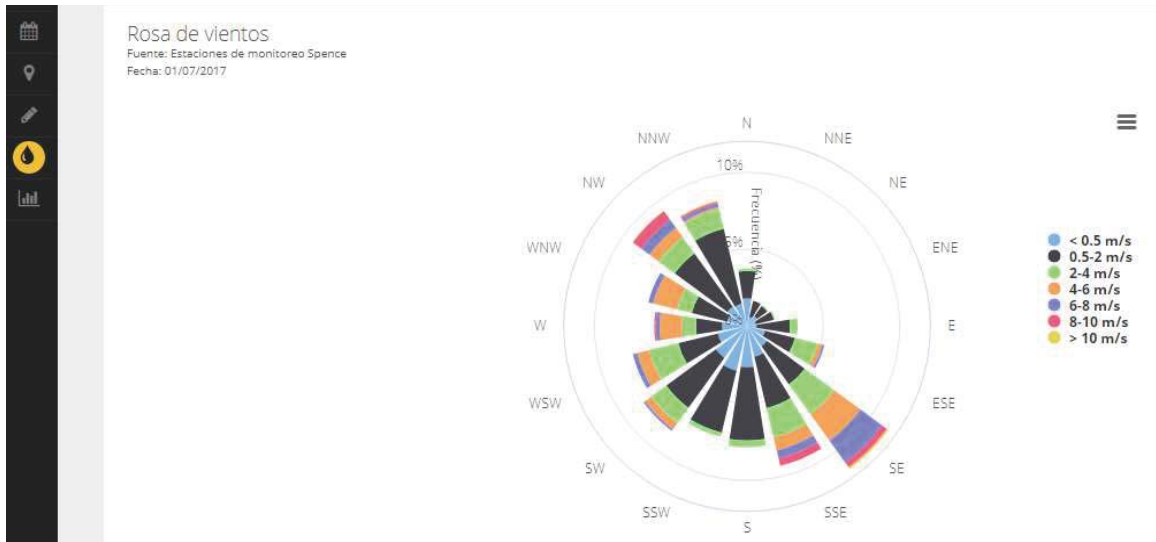


Figura 4-16: Gráfico de velocidad y dirección del viento visualizado desde la web.

Cabe destacar que la visualización en la página WEB y la administración de la base de datos, está realizada por la empresa que le presta servicios a la minera Spence, pero los datos obtenidos provienen del sistema desarrollado en el presente proyecto.

5 Construcción y pruebas

En los siguientes puntos, se podrán apreciar imágenes de la estación de monitoreo de calidad del aire terminada y, a su vez, las pruebas que se realizaron con algunos sensores que esta posee.

5.1 Construcción

Para la construcción de la estación se utilizará una caja de poliéster del tamaño de 500x400x210mm en la cual se organizaron los componentes electrónicos en diversas cajas de proyectos. Para hacer las conexiones necesarias con los sensores externos al gabinete, se hicieron 3 perforaciones donde se utilizaron prensas metálicas rectas.

El sensor OPC-N2, va dentro del gabinete con la boquilla expuesta, es por esto que se realizó un ducto de ventilación forzada para expulsar la muestra de polvo tomada por el sensor. A su vez, este ducto fue utilizado para conectar un testigo (el cual fue solicitado por la minera Spence donde se instalará la estación de monitoreo) para así tomar una muestra de polvo para posteriormente analizar la cantidad de sílice medido en el ambiente.

Se crearon piezas en la impresora 3D para realizar protecciones a las salidas del ducto, protección a la salida del OPC-N2 y piezas necesarias para interconexión y muestreo de polvo.

A continuación se adjuntan fotos de la estación terminada que se envió a la empresa minera Spence para pruebas y validaciones.



Figura 5-1: Estación de monitoreo cerrada.

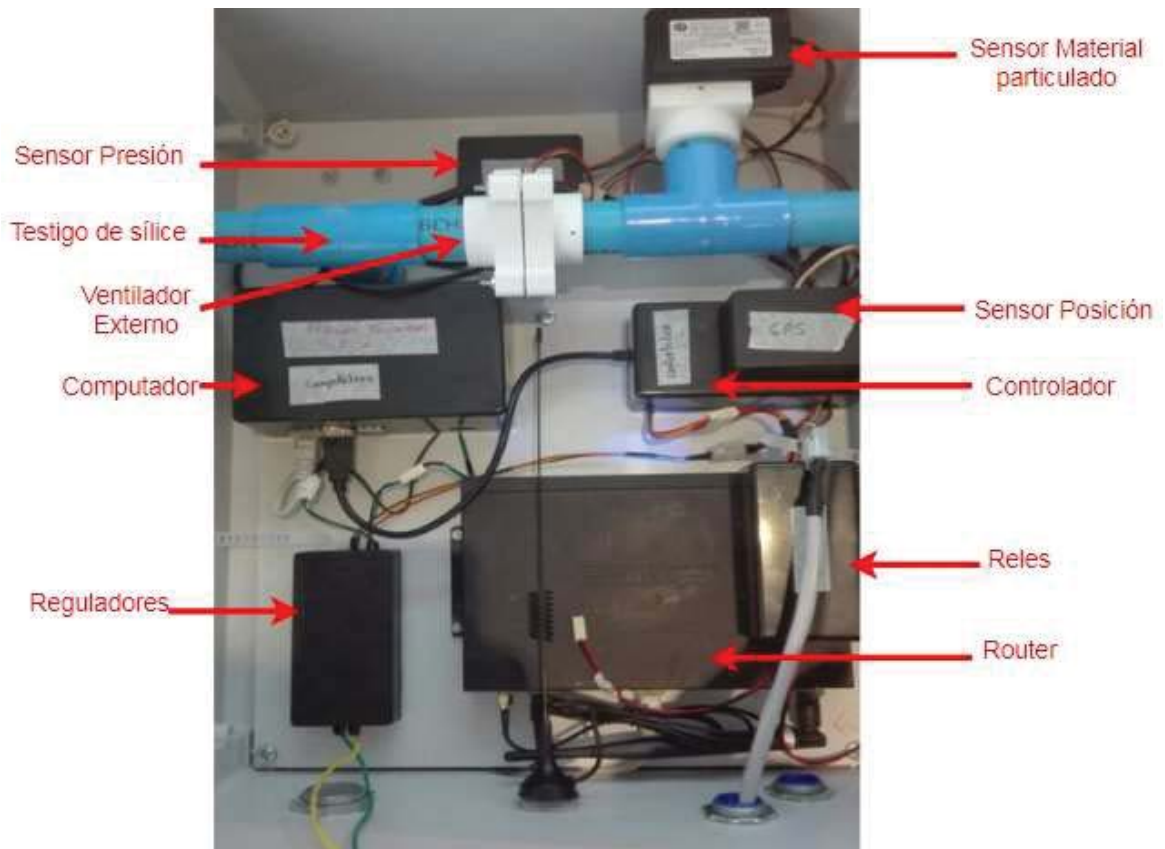


Figura 5-2: Distribución interna de la estación de monitoreo.



Figura 5-3: Soporte sensor de viento.



Figura 5-4: Ubicación sensor de temperatura y humedad, y perforaciones para sensor de presión.

La orientación de la estación de monitoreo es importante, ya que está diseñada para que su posición de montaje sea horizontal, eso es porque el sensor de presión tiene su sector expuesto por el lado inferior de la caja; si se pone de otra forma, el polvo y posible lluvia pueden ingresar a la estación de monitoreo generando corto circuitos. A su vez, esta posición es ideal para la toma de muestra de sílice, puesto que el testigo también se encuentra en la parte inferior de la caja, por lo cual el contaminante cae por gravedad hacia el testigo.

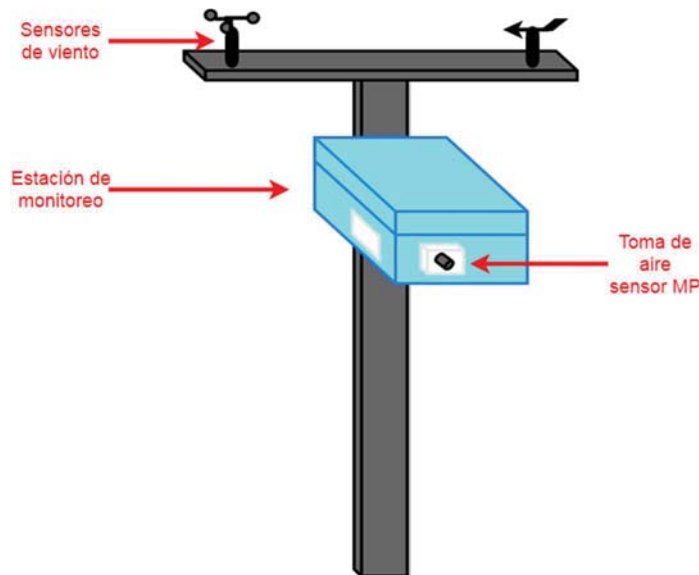


Figura 5-5: Orientación de la estación de monitoreo.

5.2 Pruebas realizadas

Durante el desarrollo de la estación se evaluaron con mayor cuidado dos sensores en particular, uno es el sensor de material particulado (OPC-N2) y el sensor de temperatura y humedad (SHT10), esto es principalmente por la importancia que le da la empresa minera a la exposición a material particulado, y mientras mayor es la temperatura, menor es la humedad y lo que genera que el polvo se acrecente de mayor forma.

5.2.1 Pruebas sensor material particulado

El objetivo principal de esta prueba, es determinar si las mediciones que se están realizando con la programación anteriormente vista, son similares a las mediciones que realiza el sensor conectándolo directamente al computador.

Este sensor lo venden con un dispositivo externo, con el cual se puede conectar directamente al computador, como se muestra en la Figura 5-6, con el cual, empieza a medir polvo sin la necesidad de ser controlado, después de conectarse al puerto USB, transcurre 1 minuto y comienza a realizar mediciones de material particulado registrando los valores en un archivo CSV. Para hacer una prueba fidedigna del funcionamiento del sensor, se realizó un muestreo en un tiempo de 2 minutos con muestras cada 5 segundos con el esquema mostrado en la Figura 5-7, para contrastarlo con la medición interna del sensor, ambas mediciones se realizaron sin perturbaciones en un mismo ambiente para no afectar o distorsionar las muestras o los tiempos de estas.

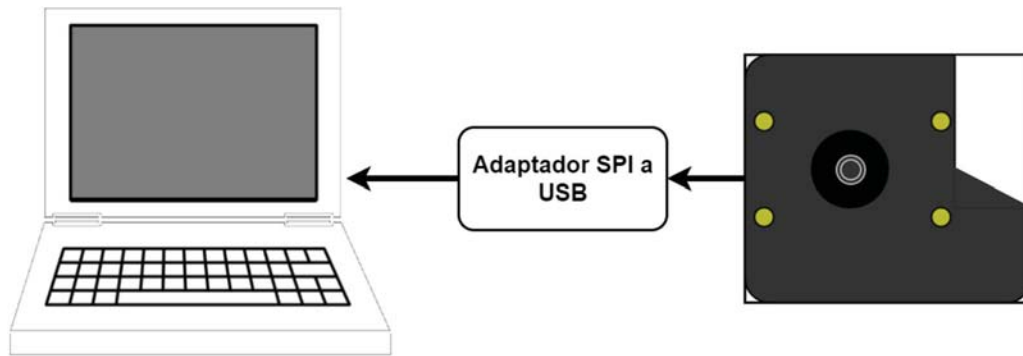


Figura 5-6: Conexión para almacenar datos dentro del sensor.

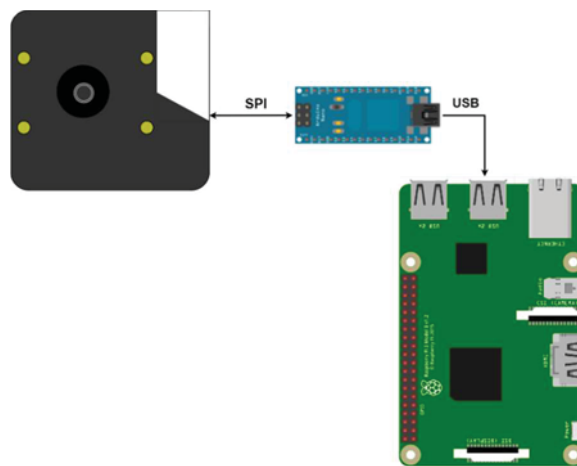


Figura 5-7: Conexión para toma de datos sensor material particulado.

Pasado el tiempo estimado, se realiza una tabla comparativa para ver cómo se comportan las mediciones del sensor a través del tiempo conectado de dos formas distintas. Los datos obtenidos se pueden apreciar en la Tabla A-1 en el anexo y con ella se realiza el gráfico de la Figura 5-8.

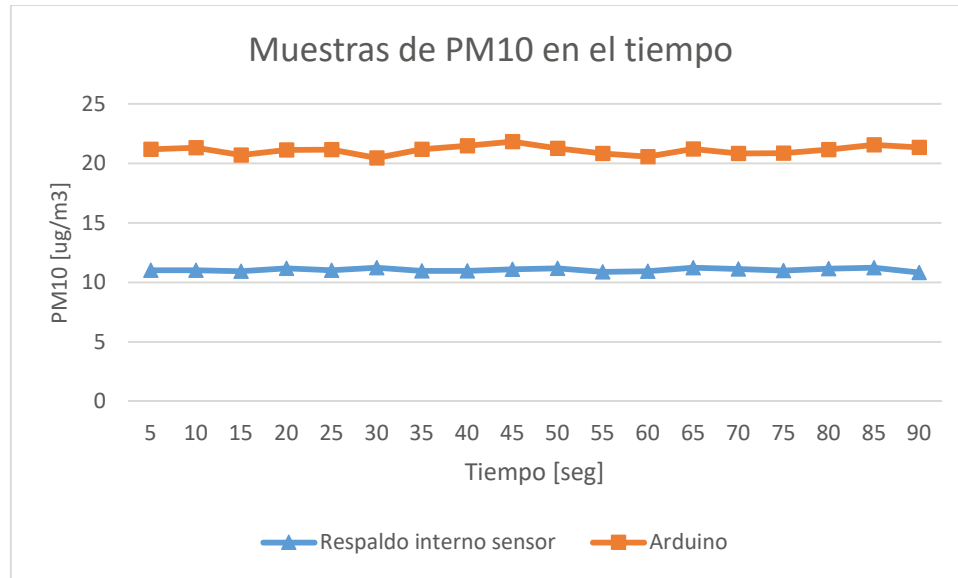


Figura 5-8: Gráfico comparativo muestras PM10.

De la Figura 5-8, se puede advertir que las mediciones son prácticamente el doble de las medidas desde arduino que las medidas desde la conexión directa al computador, por esta razón se procede a analizar el voltaje de entrada al sensor que se puede percibir en la Tabla A-2.

En la tabla se agregaron los márgenes de voltajes indicados por el datasheet del sensor entregado por la compañía creadora de este. Con estos datos se realiza el gráfico de la Figura 5-9.

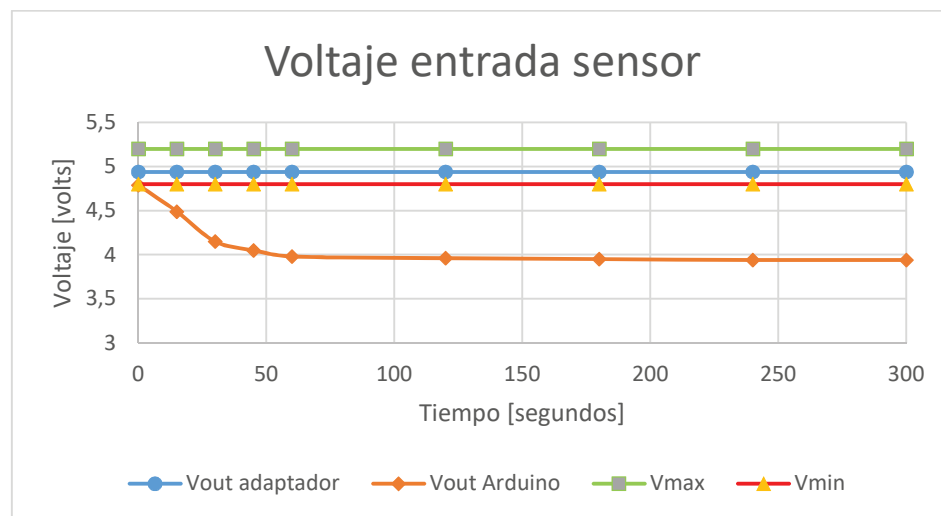


Figura 5-9: Gráfico de voltaje de entrada al sensor.

Se puede notar que con el adaptador incorpora el sensor para el computador, el voltaje se mantiene estable dentro de los rangos deseados, por el contrario, el voltaje de entrada al sensor una vez conectado al arduino se mantiene en un nivel cercano al rango deseado, pero decae en el tiempo alejándose de este.

Con esto se puede apreciar claramente que el sensor se ve afectado por su voltaje de entrada, influyendo directamente en la potencia del ventilador con el cual se introducen y expulsan las partículas del sensor.

- **Solución propuesta.**

Para este caso en particular, se propone conectar el sensor de medición de material particulado (OPC-N2) directamente al computador embebido, para nuestro caso, la Raspberry Pi 3, recordando que el sensor es muy sensible al ruido de la alimentación de entrada a este, por lo cual se tiene que energizar desde el computador embebido que vaya a realizar las lecturas.

Para corroborar esta propuesta, se decide conectar el sensor directo a la Raspberry Pi 3 tal como lo muestra la Figura 5-10 y se compara con los datos tomados por la medición realizada por la conexión de la Figura 5-6.

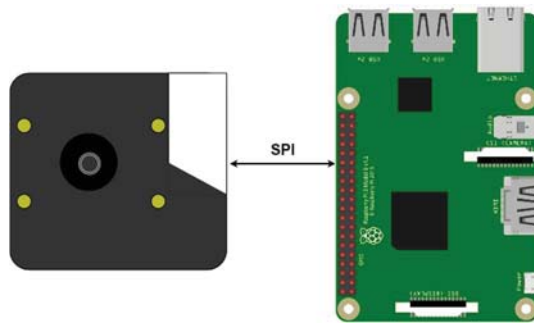


Figura 5-10: Conexión propuesta.

Una vez conectados, se procede a realizar las mismas pruebas vistas anteriormente, empezando por la medición de voltaje de entrada al sensor, teniendo como resultados de mediciones la Tabla A-3.

Se aprecia que estos datos están dentro del rango deseado, para esto se realiza el grafico de la Figura 5-11.

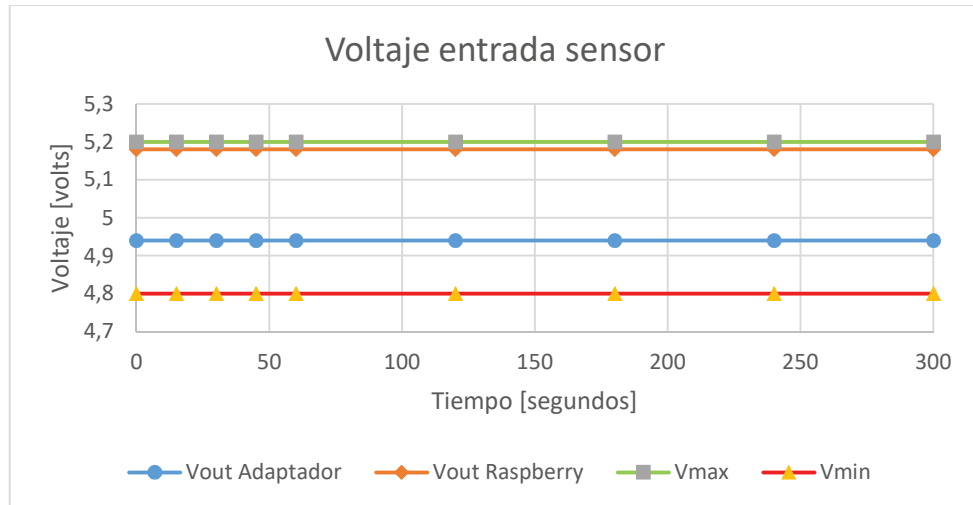


Figura 5-11: Gráfico comparativo de voltaje.

Se puede distinguir claramente que esta vez los valores de voltaje se encuentran dentro del rango deseado de alimentación, por lo que se procede a realizar mediciones nuevamente para contrastar con los datos anteriormente mostrados.

En la Tabla A-4, se aprecian los datos obtenidos al conectar directamente el sensor OPC-N2 a la Raspberry Pi 3. De esta tabla, se realiza el gráfico que se aprecia en la Figura 5-12.

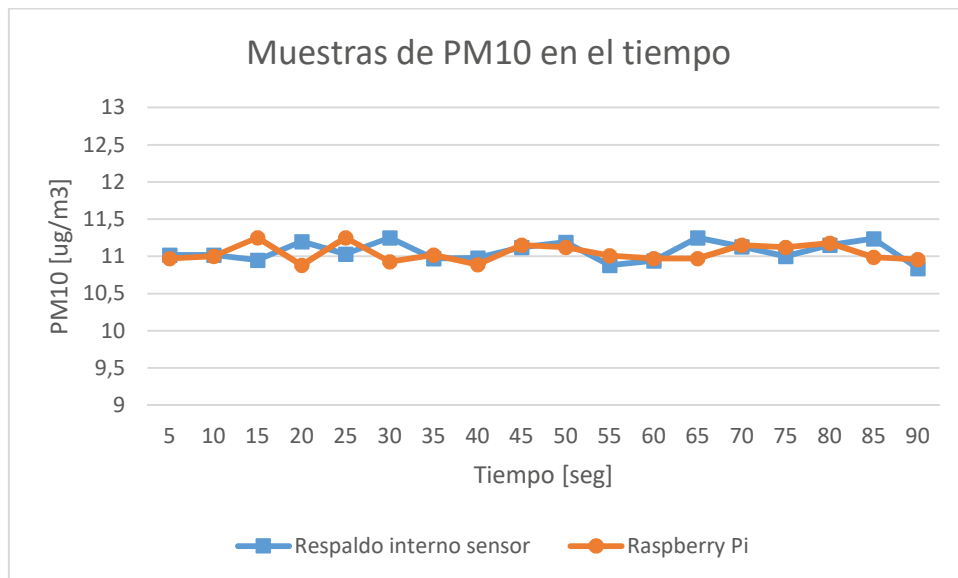


Figura 5-12: Gráfico comparativo de las muestras de PM10.

Se puede percibir que a pesar de haber una diferencia de voltaje entre los métodos de medición, las muestras son prácticamente iguales como se ve en la Figura 5-12, esto se debe a que internamente la velocidad del ventilador está regulada, cabe decir que se comportará de igual forma para todos los voltajes de entrada que se encuentren dentro del rango deseado.

Como conclusión, conectar el sensor de material particulado directamente a la Raspberry Pi 3 obtiene mejores resultados que haciendo las mediciones a través de un Arduino Nano, puesto que los valores obtenidos de las mediciones de material particulado son prácticamente iguales.

5.2.2 Pruebas sensor temperatura y humedad

El objetivo principal de esta prueba, es comparar los valores de temperatura de nuestro sensor de temperatura y humedad (SHT10), con un termómetro digital para saber si los datos que se están midiendo, son reales o varían de la realidad.

Para esta prueba, ambos sensores se ingresan a una caja estanca metálica (como se aprecia en la Figura 5-8) cerrada y se exponen al sol para que la temperatura aumente en el tiempo y poder registrar los datos tomados. Los datos son tomados entre las 11:00 y 14:30 horas con la finalidad de que las temperaturas llegasen a un punto alto y la humedad interna de la caja bajará, para poder decidir si el sensor estaba bien calibrado.



Figura 5-13: Caja estanca metálica con sensor de temperatura y humedad y termómetro digital.

Los datos de las mediciones de temperatura realizadas se pueden apreciar en la Tabla A-5, desde la cual se puede obtener el gráfico que se observa en la Figura 5-14.

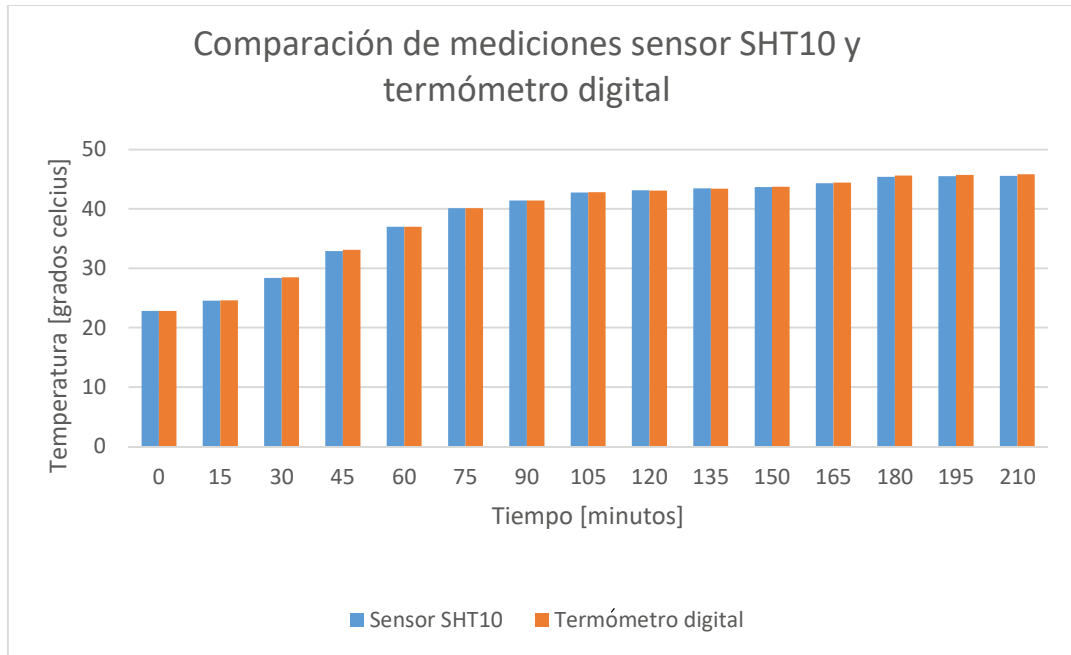


Figura 5-14: Gráfico comparativo de mediciones de temperatura.

De la Figura 5-14, se puede notar claramente que las curvas de temperaturas prácticamente están superpuestas, corroborando el buen resultado de la programación y pruebas realizadas. Cabe destacar que la máxima diferencia obtenida entre ambas mediciones fue de 0.18°C lo que equivale a un 0.5% de la medición realizada.

Con el objetivo de evidenciar aún más el comportamiento del sensor SHT10, se mide también el porcentaje de humedad relativa que esta entrega en el mismo lapso de las mediciones de temperatura, los datos obtenidos se distinguen en la Tabla A-6 desde la cual se obtiene el gráfico de la Figura 5-15.

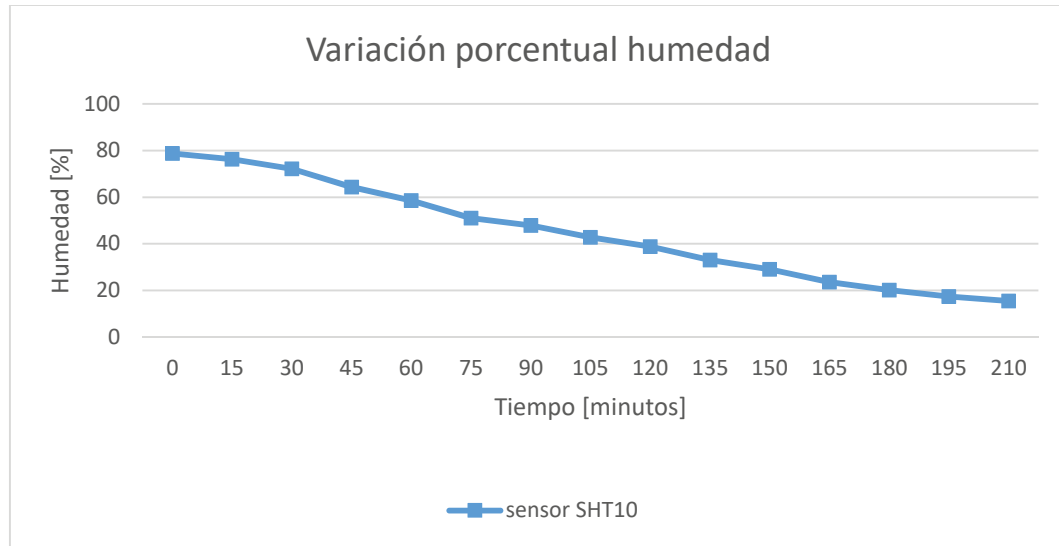


Figura 5-15: Gráfico de variación porcentual.

Comparando la Figura 5-14 con la Figura 5-15, vemos que la curva de humedad baja bajando mientras que la temperatura va en aumento, lo cual es lo que indica la ficha técnica.

Cabe destacar que en un espacio cerrado, cuando la temperatura del aire aumenta, la humedad relativa disminuye, puesto que la concentración de masa de vapor se mantiene, mientras que la masa máxima de vapor que el aire puede llegar a contener aumenta junto con la temperatura. Por lo que corrobora que la información obtenida del gráfico de humedad relativa es correcta.

Discusión y conclusiones

A lo largo de este proyecto se desarrolló una herramienta que permite medir la calidad del aire en contraste con las normativas vigentes explicadas anteriormente. Durante el proceso, se detectó una necesidad en el rubro minero, se estudiaron las alternativas existentes en el mercado, se seleccionaron el método de medición y los dispositivos a utilizar, y finalmente se construye el instrumento y se corrobora su funcionamiento. A continuación se presentan las respectivas conclusiones que se extraen tras el análisis de cada una de las etapas recorridas durante el proyecto.

El sílice es un componente de suma preocupación, y más aún en los sectores de climas secos como lo es la región de Antofagasta de nuestro país, es por esto que la empresa minera Spence, busca tomar medidas para combatir este material que se encuentra en el ambiente laboral de su empresa.

El sensor que presentó una mayor dificultad para el desarrollo de este sistema, fue el OPC-N2, es un sensor extremadamente sensible al ruido de la fuente de voltaje, es por esto que se debe alimentar directamente del controlador donde se vaya a tomar las mediciones. Como Arduino entrega un voltaje variable a su salida, para futuras versiones se pretende conectar el sensor a la Raspberry Pi 3, utilizando los pines de comunicación SPI que esta dispone.

Para el desarrollo de la estación de monitoreo, las pruebas y calibración de sensores son de suma relevancia por el impacto que tienen en el análisis realizado por las autoridades correspondientes. La información correcta y oportuna es de gran relevancia para que las personas estén expuestas la menor cantidad de tiempo a estos contaminantes

De las pruebas realizadas para el sensor de material particulado, se puede apreciar la importancia de seguir con cuidado las indicaciones que entregan los fabricantes de los productos, ya que estas pueden afectar los resultados de las mediciones que se estén realizando. Con respecto a las pruebas de temperatura y humedad, es importante utilizar más de un modo de análisis, y hacer pruebas variando las condiciones naturales para obtener un resultado más fidedigno de lo que se está midiendo y conocer o validar la relación entre las variables.

Por otra parte, la base de datos genera una perpetuidad de la información otorgando la factibilidad de realizar análisis por las herramientas anteriormente expuestas. Tener una base de

datos externa logra generar resultados los cuales pueden llevar a predicciones de comportamiento. También el poder contar con una base de datos interna, logra tener un respaldo de la información obtenida en caso de fallas y/o problemas externos a la estación. La perpetuidad de los datos medidos, pueden generar un respaldo a la empresa donde se encuentre la estación, puesto que la mayoría de las enfermedades se presentan tiempo después (años), por lo que se podría evitar futuras demandas, pensando que los trabajadores del ámbito de la minería, trabajan en distintas faenas dentro de su vida laboral, por lo que teniendo referencia con las fechas en que estuvo el trabajador en esta faena y las mediciones ocurridas en su sector de trabajo, se puede saber si realmente estuvo expuesto o no a los contaminantes.

Un análisis bien presentado al usuario, puede provocar que los tiempos para actuar disminuyan y a su vez puede disminuir la exposición de los trabajadores a contaminantes.

La estación desarrollada serviría inicialmente de contraste, hasta que la autoridad valide el completo funcionamiento y cualidades indicadas en el Decreto 61.

Por último, dentro del desarrollo de la estación de monitoreo de calidad del aire, han surgido más ideas para futuras versiones. A continuación se especificarán tres mejoras a implementar para la próxima estación de monitoreo de calidad del aire.

- **Mejora para ubicación de sensores:** Uno de los problemas descubiertos en el proceso de construcción de la estación de monitoreo, fue la ubicación del sensor de presión y el de temperatura y humedad. Para resolver este problema para futuras versiones se utilizará una garita de platos meteorológica en donde se introducirán los sensores SHT10 (temperatura y humedad) y el BMP180 (presión). La garita en cuestión se puede apreciar en la Figura A-1.

Con este tipo de cubierta, los componentes electrónicos quedan con una protección alta y con la exposición al ambiente que se requiere.

- **Mejora para interconexión de componentes:** El trabajo realizado en la estación de monitoreo, generó mucho trabajo para poder conectar todos los componentes de buena forma, por lo que el tiempo empleado se puede reducir formando una placa madre en la cual soldar los componentes.

Para que se pueda entender mejor la idea propuesta, se incluye la Figura A-2. En donde se puede observar que se encuentra el Arduino y la Raspberry Pi 3 conectados directamente a la placa, entre ellos un conector para el sensor de material particulado. Más abajo se encuentran 3 reguladores juntos, y un sector de relés y conectores de salidas para los sensores y balizas que se encuentran en el exterior de la caja principal.

Esta placa tiene la finalidad de eliminar cables internos, cajas excesivas y reducir el espacio destinado para la circuitería.

- **Ubicación sensor de material particulado (OPC-N2):** Un problema no menor de diseño encontrado, fue la posición del sensor de material particulado. Este sensor, ya es utilizado

en algunas estaciones de monitoreo, por ejemplo, la empresa Valarm vende estaciones de monitoreo con el sensor OPC-N2 incorporado, y la mejor ubicación para este, es con la toma de aire en posición vertical, es decir, que la boquilla mire hacia arriba o abajo para tratar de influir lo menos posible con el viento que transporta las partículas de polvo.

En la Figura A-3 y Figura A-4 se puede apreciar como Valarm ubica el sensor en su estación de monitoreo.

Bibliografía

- [1] C. Comunidad Chilena del Cobre, «Estudio de la salud en la minería,» 2017.
- [2] Ministerio de Salud, Seremi Antofagasta. «Guía técnica para la prevención de la Silicosis,» 2009.
- [3] J. A. Lara, «Estudio de la exposición al sílice,» 2005.
- [4] Universidad Nacional Río Negro, «*Técnicas de muestreo, análisis e interpretación*».
- [5] Maldonado & Mendez «Enfermedades broncopulmonares del trabajo», 1999.
- [6] R. V. Matos, «Los impactos sobre la salud humana de los polvos de minerales y el desarrollo sustentable de la minería como alternativa para mitigar sus efectos,» 2007.
- [7] Asociación Chilena de Seguridad, «Silicosis».
- [8] Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer CIIC, «Evaluación oficial de las pruebas relativas al carácter cancerígeno,» 1987.
- [9] Ministerio del Medio Ambiente, «Sistema de Información Nacional de Medio Ambiente SINCA,» [En línea]. Available: sinca.mma.gob.cl.
- [10] R. Rada Jaman, Interviewee, *Gerente de Dust a Side*. [Entrevista]. 2015.
- [11] South Coast AQMD, «Field Evaluation AlphaSense OPC-N2 sensor,» 2015.
- [12] A. L. López, «Colegio de Estudios Científicos y Tecnológicos del estado plantel magdalena».
- [13] [En línea]. Available: <https://www.gps.gov/spanish.php>.

-
- [14] M. Á. Muñoz, «Nociones basicas de vuelo».
- [15] Robert A. Nelson, de *The global Positioning System.*, Noviembre 1999.
- [16] Steve Heath, de *Embedded systems design. EDN series for design engineers.*, 2003.
- [17] M. Barr, «Embedded System Glossary.» de *Neutrino Technical Library*, abril 2007.
- [18] Alphasense, «www.alphasense.com,» [En línea].
- [19] Sensirion, «SHT10 datasheet».
- [20] Texas Instruments, «BMP180 datasheet».
- [21] Universidad de Sonora «Muestreo».
- [22] P. Salant, I. Dillman y A. Don. «How to conduct your own survey», 1994.
- [23] H. Adèr, «Research Methods: A consultant's companion,» 2008, p. pp. 333–356.
- [24] Ley 25.326 «PROTECCION DE LOS DATOS,» 2000.
- [25] Oracle, «MySQL release notes 5.7,» 2014.
- [26] S. Muñoz, Interviewee, *Ingeniero Informático*. [Entrevista]. 2017.

A Apéndice

En esta sección, se mostrarán los datos principales de los gráficos mostrados en los capítulos anteriores, imágenes citadas en la conclusión, y a su vez, se podrán ver los códigos utilizados en el presente proyecto.

A.1 Imágenes

A continuación, se presentan las figuras citadas en la conclusión de este proyecto.



Figura A-A-1: Garita de platos meteorológica. (Fuente: MeteoStar)

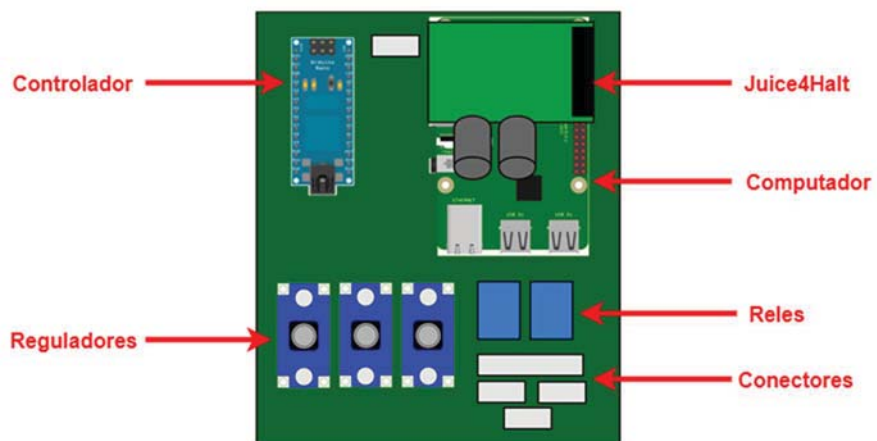


Figura A-A-2: Esquema de placa madre estación de monitoreo.



Figura A-A-3: Orientación gabinete estación de monitoreo Valarm. (Fuente: Valarm)



Figura A-A-4: Ubicación de sensor OPC-N2 en producto Valarm. (Fuente: Valarm)

A.2 Tablas

En la presente sección se adjuntarán las tablas de datos tomadas para realizar los gráficos del capítulo 5.

La siguiente tabla, refleja las mediciones de PM10 en PCC tomadas durante dos minutos con la conexión mostradas en las Figura 5-6 y Figura 5-7.

Tabla A-A-1 Mediciones de PM10

Tiempo [s]	Respaldo interno sensor [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Arduino [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
5	11.02	21.18
10	11.02	21.33
15	10.95	20.71
20	11.2	21.12
25	11.03	21.15
30	11.25	20.45
35	10.97	21.19
40	10.98	21.47
45	11.12	21.84
50	11.19	21.27
55	10.88	20.84
60	10.94	20.56
65	11.25	21.22
70	11.13	20.84
75	11	20.86
80	11.15	21.15
85	11.24	21.57
90	10.84	21.35

A continuación se aprecian los voltajes obtenidos a través del tiempo para obtener el gráfico de la Figura 5-9.

Tabla A-2 Voltaje de alimentación del sensor

Tiempo [s]	Vout Adaptador [V]	Vout Arduino [V]	Vmax [V]	Vmin [V]
0	4.94	4.79	5.2	4.8
15	4.94	4.49	5.2	4.8
30	4.94	4.15	5.2	4.8
45	4.94	4.05	5.2	4.8

60	4.94	3.98	5.2	4.8
120	4.94	3.96	5.2	4.8
180	4.94	3.95	5.2	4.8
240	4.94	3.94	5.2	4.8
300	4.94	3.94	5.2	4.8

La siguiente tabla, muestra los valores obtenidos en las mediciones de la solución propuesta para la nueva conexión del sensor OPC-N2.

Tabla A-3 Voltaje alimentación sensor

Tiempo [s]	Vout Adaptador [V]	Vout Raspberry [V]	Vmax [V]	Vmin[V]
0	4.94	5.18	5.2	4.8
15	4.94	5.18	5.2	4.8
30	4.94	5.18	5.2	4.8
45	4.94	5.18	5.2	4.8
60	4.94	5.18	5.2	4.8
120	4.94	5.18	5.2	4.8
180	4.94	5.18	5.2	4.8
240	4.94	5.18	5.2	4.8
300	4.94	5.18	5.2	4.8

Los datos que se ven a continuación, son los obtenidos del sensor OPC-N2 conectandolo de forma directa con la Raspberry Pi 3.

Tabla A-4 Muestras de PM10

Tiempo [s]	Respaldo interno sensor	Raspberry Pi
5	11.02	10.97
10	11.02	11
15	10.95	11.25
20	11.2	10.88
25	11.03	11.25
30	11.25	10.93
35	10.97	11.02
40	10.98	10.89
45	11.12	11.15
50	11.19	11.12
55	10.88	11.01
60	10.94	10.97

65	11.25	10.97
70	11.13	11.15
75	11	11.12
80	11.15	11.18
85	11.24	10.99
90	10.84	10.96

Los siguientes datos, son los obtenidos en la prueba de temperatura explicados en la sección 5.2.2.

Tabla A-5 Mediciones de temperatura

Tiempo [min]	Sensor SHT10 [°C]	Termómetro digital [°C]
0	22.83	22.8
15	24.56	24.6
30	28.38	28.5
45	32.92	33.1
60	37.01	37
75	40.12	40.1
90	41.42	41.4
105	42.73	42.8
120	43.12	43.1
135	43.43	43.4
150	43.65	43.7
165	44.3	44.4
180	45.4	45.6
195	45.49	45.7
210	45.57	45.8

Por último, se muestra la tabla de los datos de humedad relativa obtenidos en la prueba de temperatura vista con anterioridad.

Tabla A-6 Datos de humedad relativa

Tiempo [min]	Sensor SHT10 [%]
0	78.7
15	76.23
30	72.18
45	64.32
60	58.61
75	51.02

90	47.86
105	42.73
120	38.79
135	33.04
150	29.06
165	23.57
180	20.15
195	17.32
210	15.45

A.3 Códigos de programación

A continuación, se presenta el código para programar el Arduino Nano V3.0 utilizado en la construcción del datalogger de la estación de monitoreo de calidad del aire. El presente código fue creado en lenguaje C.

Listado A-A-1 Código de Arduino

```

1 // Se agregan librerías necesarias
2 #include <SPI.h>
3 #include <SoftwareSerial.h>
4 #include <TinyGPS.h>
5 #include <SHT1x.h>
6 #include <TimerOne.h>
7 #include <Wire.h>
8 #include <Adafruit_BMP085.h>
9
10 Adafruit_BMP085 bmp;
11
12 // Se definen los pines a utilizar
13 int Slave = 10;
14 SHT1x sht1x(8, 9);
15 int Baliza1 = 7;
16 int Baliza2 = 6;
17 int Ventilador = 5;
18 SoftwareSerial gpsSerial(2, 3);
19 TinyGPS gps;
20 int posViento = A0;
21 int velViento = A1;
22
23 // Se definen variables del GPS
24 int year;
25 long lat;
26 long lon;
27 byte month;
28 byte day;
29 byte hour;
30 byte minutes;
31 byte second;
32 byte fix_age;
33
34 // Se definen variables para OPC-N2
35 byte valor[2];
36 byte datos[16];
37 byte histograma[62];
38

```

```

39 // Variables usadas para conversion a PCC
40 float datosPCC[16];
41 float pm1_PCC = 0;
42 float pm25_PCC = 0;
43 float pm10_PCC = 0;
44 float divisor = 1;
45
46 //Variables del sensor de SHT10
47 float temp_c;
48 float humedad;
49
50 //Variable BMP180
51 float presion;
52
53 //Variables sensor Viento
54 float posicionViento_lectura = 0;
55 float velocidadViento_lectura = 0;
56 float velocidadViento = 0;
57 float posicionViento = 0;
58
59 //Variables tipo flag
60 int flagEstado=1;
61 int flagEstadoAlerta=0;
62 boolean state = true;
63
64 //Variables de conteo
65 int i=0;
66 int contador=0;
67
68 String palabra = "NORMAL";
69 float voltajeSetup = 5.00;
70
71 // Función utilizada para el calculo de PCC con el OPC-N2
72 union cambioDatos_byte_a_float {
73     byte b[4];
74     float f;
75 } sfr, period, h_pm1, h_pm25, h_pm10;
76
77 // Se inicializan los componentes
78 void setup() {
79     Serial.begin(9600);
80     gpsSerial.begin(9600);
81     pinMode(Slave, OUTPUT);
82     pinMode(Baliza1, OUTPUT);
83     pinMode(Baliza2, OUTPUT);
84     pinMode(Ventilador, OUTPUT);
85     pinMode(posViento, INPUT);
86     pinMode(velViento, INPUT);
87     if (!bmp.begin()) {
88         Serial.println("no se encuentra el sensor de presion!");
89     }
90     SPI.begin();
91     SPI.beginTransaction(SPISettings (1000000, MSBFIRST, SPI_MODE1));
92     Timer1.initialize(5000000);
93     Timer1.attachInterrupt(enviaDatos);
94     Serial.flush();
95     prenderALPHA();
96     digitalWrite(Ventilador, HIGH);
97     delay(1000);
98 }
99
100 // Acá a partir de la palabra enviada por la raspberry pi 3, se mide lo solicitado y se interactua con las balizas
101 void loop() {
102     if(palabra[0] == 'N' && palabra[1] == 'O' && palabra[2] == 'R' &&
palabra[3] == 'M' && palabra[4] == 'A' && palabra[5] == 'L' ) {

```



```

103 read_Histogram();
104 temp_c = sht1x.readTemperatureC();
105 humedad = sht1x.readHumidity();
106 posicionViento_lectura = analogRead(posViento);
107 velocidadViento_lectura = analogRead(velViento);
108 presion=bmp.readPressure();
109 digitalWrite(Baliza1, LOW);
110 digitalWrite(Baliza2, LOW);
111 delay(1000);
112 calcular_datos_ug();
113 calcular_divisor();
114 calcular_datos_pcc();
115 posicionViento = (posicionViento_lectura*voltajeSetup *0.140762463);
116 velocidadViento = velocidadViento_lectura*voltajeSetup *0.140762463;
117 flagEstadoAlerta=0;
118 }
119 else if (palabra[0] == 'A' && palabra[1] == 'L' && palabra[2] == 'E' &&
120         palabra[3] == 'R' && palabra[4] == 'T' && palabra[5] == 'A') {
121 read_Histogram();
122 temp_c = sht1x.readTemperatureC();
123 humedad = sht1x.readHumidity();
124 posicionViento_lectura = analogRead(posViento);
125 velocidadViento_lectura = analogRead(velViento);
126 presion=bmp.readPressure();
127 digitalWrite(Baliza1, state);
128 digitalWrite(Baliza2, !state);
129 delay(1000);
130 calcular_datos_ug();
131 calcular_divisor();
132 calcular_datos_pcc();
133
134 posicionViento = (posicionViento_lectura*voltajeSetup *0.140762463);
135 velocidadViento = velocidadViento_lectura*voltajeSetup *0.140762463;
136 state = !state;
137 flagEstadoAlerta=1;
138 }
139 else if (palabra[0] == 'G' && palabra[1] == 'P' && palabra[2] == 'S') {
140 while(contador < 2) {
141     if(gpsSerial.available()>0) {
142         if(gps.encode(gpsSerial.read())) {
143             gps.get_position(&lat,&lon);
144             gps.crack_datetime(&year, &month, &day, &hour, &minutes, &second, &fix_age);
145         }
146     }
147 }
148 if(flagEstadoAlerta==0) {
149     palabra="NORMAL";
150 }
151 else {
152     palabra="ALERTA";
153 }
154 }
155 else if (palabra[0] == 'O' && palabra[1] == 'N') {
156 prenderALPHA();
157 digitalWrite(Ventilador, HIGH);
158 flagEstado=1;
159 if(flagEstadoAlerta==0) {
160     palabra="NORMAL";
161 }
162 else {
163     palabra="ALERTA";
164 }
165 }
166 else if (palabra[0] == 'O' && palabra[1] == 'F' && palabra[2] == 'F') {
167 apagarALPHA();
168 digitalWrite(Ventilador, LOW);

```

```

167 flagEstado=0;
168 if(flagEstadoAlerta==0) {
169     palabra="NORMAL";
170 }
171 else {
172     palabra="ALERTA";
173 }
174 }
175 else {
176     if(flagEstadoAlerta==0){
177         palabra="NORMAL";
178     }
179     else {
180         palabra="ALERTA";
181     }
182 }
183 }
184
185 // Funciones de recepción y envío de datos
186 void serialEvent() {
187     while(Serial.available())
188     {
189         palabra = Serial.readString();
190     }
191     contador=0;
192 }
193
194 void enviaDatos() {
195     if(flagEstado==1) {
196         contador++;
197         // Enviamos datos del ALPHA
198         Serial.print(pm1_PCC);Serial.print("|");Serial.print(pm25_PCC);
199         Serial.print("|");Serial.print(pm10_PCC);Serial.print("|");
200         Serial.print(h_pm1.f);Serial.print("|");Serial.print(h_pm25.f);
201         Serial.print("|");Serial.println(h_pm10.f);
202         // Enviamos datos Ambientales
203         Serial.print(temp_c, DEC);Serial.print("|");Serial.print(humedad);
204         Serial.print("|");Serial.print(presion*0.00000986923);
205         Serial.print("|");Serial.print(posicionViento);Serial.print("|");S
206         erial.println(velocidadViento);
207         // Enviamos datos del GPS
208         Serial.print(lat);Serial.print("|");Serial.print(lon);Serial.print("|");
209         Serial.print(day);Serial.print("|");Serial.print(month);Serial.print("|");
210         Serial.print(year);Serial.print("|");Serial.print(hour);Serial.print("|");
211         Serial.print(minutes);Serial.print("|");Serial.println(second);
212     }
213 }
214
215 // Las presentes funciones son para interactuar con el sensor OPC-N2
216 void prenderALPHA() {
217     digitalWrite(Slave, LOW);
218     valor[0]=SPI.transfer(0x03);
219     digitalWrite(Slave, HIGH);
220     delay(10);
221     digitalWrite(Slave, LOW);
222     valor[1]=SPI.transfer(0x00);
223     digitalWrite(Slave, HIGH);
224 }
225
226 void apagarALPHA() {
227     digitalWrite(Slave, LOW);
228     valor[0]=SPI.transfer(0x03);
229     digitalWrite(Slave, HIGH);
230     delay(10);
231     digitalWrite(Slave, LOW);

```

```

226     valor[1]=SPI.transfer(0x01);
227     digitalWrite(Slave, HIGH);
228 }
229
230 void read_Histogram() {
231     digitalWrite(Slave, LOW);
232     SPI.transfer(0x30);
233     digitalWrite(Slave, HIGH);
234     delay(12);
235     digitalWrite(Slave, LOW);
236     for (int i = 0; i < 62; i++){
237         histograma[i] = SPI.transfer(0x00);
238         delayMicroseconds(4);
239     }
240     digitalWrite(Slave, HIGH);
241 }
242
243 // Las siguientes funciones son para obtener los valores en PCC de PM1, PM2.5 y PM10
244 int Convierto_2byte_a_int(unsigned int x_high, unsigned int x_low) {
245     int combinar;
246     combinar = x_high;
247     combinar = combinar*256;
248     combinar |= x_low;
249     return combinar;
250 }
251
252 void calcular_datos_ug() {
253     for( i=50 ; i < 54 ; i++)
254         h_pm1.b[i-50] = histograma[i];
255     for( i=54 ; i < 58 ; i++)
256         h_pm25.b[i-54] = histograma[i];
257     for( i=58 ; i < 62 ; i++)
258         h_pm10.b[i-58] = histograma[i];
259 }
260
261 void calcular_divisor() {
262     for( i=36 ; i < 40 ; i++)
263         sfr.b[i-36] = histograma[i];
264     for( i=44 ; i < 48 ; i++)
265
266         period.b[i-44] = histograma[i];
267     divisor = sfr.f*period.f;
268 }
269
270 void calcular_datos_pcc() {
271     datosPCC[0] = Convierto_2byte_a_int ( histograma[1] , histograma[0] ) / divisor;
272     datosPCC[1] = Convierto_2byte_a_int ( histograma[3] , histograma[2] ) / divisor;
273     datosPCC[2] = Convierto_2byte_a_int ( histograma[5] , histograma[4] ) / divisor;
274     datosPCC[3] = Convierto_2byte_a_int ( histograma[7] , histograma[6] ) / divisor;
275     datosPCC[4] = Convierto_2byte_a_int ( histograma[9] , histograma[8] ) / divisor;
276     datosPCC[5] = Convierto_2byte_a_int ( histograma[11] , histograma[10] ) / divisor;
277     datosPCC[6] = Convierto_2byte_a_int ( histograma[13] , histograma[12] ) / divisor;
278     datosPCC[7] = Convierto_2byte_a_int ( histograma[15] , histograma[14] ) / divisor;
279     datosPCC[8] = Convierto_2byte_a_int ( histograma[17] , histograma[16] ) / divisor;
280     datosPCC[9] = Convierto_2byte_a_int ( histograma[19] , histograma[18] ) / divisor;
281     datosPCC[10] = Convierto_2byte_a_int ( histograma[21] , histograma[20] ) / divisor;
282     datosPCC[11] = Convierto_2byte_a_int ( histograma[23] , histograma[22] ) / divisor;
283     datosPCC[12] = Convierto_2byte_a_int ( histograma[25] , histograma[24] ) / divisor;
284     datosPCC[13] = Convierto_2byte_a_int ( histograma[27] , histograma[26] ) / divisor;
285     datosPCC[14] = Convierto_2byte_a_int ( histograma[29] , histograma[28] ) / divisor;
286     datosPCC[15] = Convierto_2byte_a_int ( histograma[31] , histograma[30] ) / divisor;
287     pm1_PCC = datosPCC[0] + datosPCC[1] + datosPCC[2];
288     pm25_PCC = pm1_PCC + datosPCC[3] + datosPCC[4] + datosPCC[5] + datosPCC[6]/2;
289     pm10_PCC = pm1_PCC + datosPCC[3] + datosPCC[4] + datosPCC[5] + datosPCC[6] +
290     datosPCC[7] + datosPCC[8] + datosPCC[9] + datosPCC[10] + datosPCC[11];

```

289	}
-----	---

Ahora, se adjunta el código con el cual se programó la Raspberry Pi 3, el cual fue realizado en lenguaje Python.

Listado A-A-2 Código de Raspberry Pi 3

```

1  from eye3 import Thing
2  import requests
3  import OpenSSL
4  import thread
5  import serial
6  import json
7  import time
8
9  # Station config
10 EYE3_PRODUCT_ID = 10
11 EYE3_PRODUCT_NAME = "EMP-1"
12 SECONDS_BETWEEN_UPDATES = 30
13
14 # Webservices
15 statusUpdateURL = 'http://spencer.eye3.cl/station/data/push'
16 logger = Thing()
17
18 # Globals
19 weather = None
20 comport = None
21
22 def resetWeather():
23     global weather,logger
24     logger.log("resetWeather()")
25     weather = {
26         station: EYE3_PRODUCT_ID,
27         date: logger.getDateTime(),
28         lat: -1,
29         lon: -1,
30         humidity: [],
31         temperature: [],
32         pressure: [],
33         windspeed: [],
34         winddirection: [],
35         pm1_ugm3: [],
36         pm25_ugm3: [],
37         pm10_ugm3: [],
38         pm1_pcc: [],
39         pm25_pcc: [],
40         pm10_pcc: []
41     }
42
43 def parseLineAlternative(line):
44     global logger, weather
45     try:
46         parts = line.split("|")
47         if len(parts) == 6:
48             logger.log("parseLineAlternative(): Split line to 6 pieces. Assuming PM sensor data")
49             weather["pm1_pcc"].append(float(parts[0]))
50             weather["pm25_pcc"].append(float(parts[1]))
51             weather["pm10_pcc"].append(float(parts[2]))
52             weather["pm1_ugm3"].append(float(parts[3]))
53             weather["pm25_ugm3"].append(float(parts[4]))
54             weather["pm10_ugm3"].append(float(parts[5]))
55         elif len(parts) == 5:

```

```

56     logger.log("parseLineAlternative(): Split line to 5 pieces. Assuming weather data")
57     weather["temperature"].append(float(parts[0]))
58     weather["humidity"].append(float(parts[1]))
59     weather["pressure"].append(float(parts[2]))
60     weather["windspeed"].append(float(parts[3]))
61     weather["winddirection"] = float(parts[4])
62     elif len(parts) == 8:
63         logger.log("parseLineAlternative(): Split line to 8 pieces. Assuming position data")
64         weather["lat"] = float(parts[0]) / 1000000.0
65         weather["lon"] = float(parts[1]) / 1000000.0
66     except:
67         logger.log("parseLineAlternative(%s) FAILED, traceback follows" % line)
68         logger.traceback()
69
70     def parseLine(line):
71         global logger, weather
72         parts = line.split()
73
74         # Parse Position
75         if "Position:" in line:
76             try:
77                 weather["lat"] = parts[2]
78                 weather["lon"] = parts[4]
79             except:
80                 weather["lat"] = -2
81                 weather["lon"] = -2
82
83         # Parse Temperature
84         if "Temp|" in line:
85             try:
86                 weather["temperature"] = line.split("|")[1]
87             except:
88                 weather["temperature"] = -1
89
90         # Parse Humidity
91         if "Hum|" in line:
92             try:
93                 weather["humidity"] = line.split("|")[1]
94             except:
95                 weather["humidity"] = -1
96
97         # Parse PM10/pcc
98         if "pm10 pcc" in line:
99             try:
100                if parts[2] != 'nan' and parts[2] != 'inf' and parts[2] != 'ovf':
101                    weather["pm10_pcc"] = parts[2]
102            except:
103                weather["pm10_pcc"] = -1
104
105         # Parse PM1/pcc
106         if "pm1 pcc" in line:
107             try:
108                if parts[2] != 'nan' and parts[2] != 'inf' and parts[2] != 'ovf':
109                    weather["pm1_pcc"] = parts[2]
110            except:
111                weather["pm1_pcc"] = -1
112
113         # Parse PM2.5/pcc
114         if "pm2.5 pcc" in line:
115             try:
116                if parts[2] != 'nan' and parts[2] != 'inf' and parts[2] != 'ovf':
117                    weather["pm25_pcc"] = parts[2]
118            except:
119                weather["pm25_pcc"] = -1
120

```

```

121 # Parse PM10/ugm3
122 if "pm10 ug/m3" in line:
123     try:
124         if parts[2] != 'nan' and parts[2] != 'inf' and parts[2] != 'ovf':
125             weather["pm10_ugm3"] = parts[2]
126     except:
127         weather["pm10_ugm3"] = -1
128
129 # Parse PM1/ugm3
130 if "pm1 ug/m3" in line:
131     try:
132         if parts[2] != 'nan' and parts[2] != 'inf' and parts[2] != 'ovf':
133             weather["pm1_ugm3"] = parts[2]
134     except:
135         weather["pm1_ugm3"] = -1
136
137 # Parse PM2.5/ugm3
138 if "pm2.5 ug/m3" in line:
139     try:
140         if parts[2] != 'nan' and parts[2] != 'inf' and parts[2] != 'ovf':
141             weather["pm25_ugm3"] = parts[2]
142     except:
143         weather["pm25_ugm3"] = -1
144
145 def serialCommThread():
146     global logger, weather
147     while True:
148         try:
149             comport = serial.Serial(port="/dev/ttyUSB0", baudrate=9600, timeout=2)
150             logger.log("SERIAL [%s]" % str(comport))
151             while True:
152                 line = comport.readline()
153                 parseLineAlternative(line.strip())
154         except:
155             logger.traceback()
156             time.sleep(5)
157             continue
158
159 def averageVariable(l):
160     # please do not divide by zero
161     if len(l) == 0:
162         return 0
163     else:
164         return float(sum(l)) / float(len(l))
165
166 def pushUpdate(weatherInfo, pushUrl):
167     global logger
168     uploaded = 0
169     while uploaded == 0:
170         try:
171             weatherInfo["pm1_pcc"] = averageVariable(weatherInfo["pm1_pcc"])
172             weatherInfo["pm25_pcc"] = averageVariable(weatherInfo["pm25_pcc"])
173             weatherInfo["pm10_pcc"] = averageVariable(weatherInfo["pm10_pcc"])
174             weatherInfo["pm1_ugm3"] = averageVariable(weatherInfo["pm1_ugm3"])
175             weatherInfo["pm25_ugm3"] = averageVariable(weatherInfo["pm25_ugm3"])
176             weatherInfo["pm10_ugm3"] = averageVariable(weatherInfo["pm10_ugm3"])
177
178             weatherInfo["temperature"] = averageVariable(weatherInfo["temperature"])
179             weatherInfo["humidity"] = averageVariable(weatherInfo["humidity"])
180             weatherInfo["pressure"] = averageVariable(weatherInfo["pressure"])
181             weatherInfo["windspeed"] = averageVariable(weatherInfo["windspeed"])
182             logger.log("Will upload: %s" % weatherInfo)
183
184             logger.log("Uploading status update to %s" % pushUrl)
185             r = requests.post(pushUrl, data = {'json': json.dumps(weatherInfo)})

```

```
186     logger.log("Uploaded successfully to %s" % pushUrl)
187     uploaded = 1
188     time.sleep(1)
189
190     except OpenSSL.SSL.ZeroReturnError:
191         logger.log("Failed to upload to %s [OpenSSL ZeroReturnError]" % pushUrl)
192         time.sleep(5)
193
194     except requests.exceptions.ConnectionError:
195         logger.log("Failed to upload to %s [ConnectionError]" % pushUrl)
196         time.sleep(5)
197
198     except:
199         logger.log("Failed to upload to %s [unknown error]" % pushUrl)
200         logger.traceback()
201         time.sleep(5)
202
203 # Inicialización y loop principal
204 resetWeather()
205 thread.start_new_thread(serialCommThread, ())
206 timer = SECONDS_BETWEEN_UPDATES
207 while True:
208     if timer == 0:
209         weather["date"] = logger.getDateTime()
210         weatherBackup = weather
211         resetWeather()
212         thread.start_new_thread(pushUpdate, (weatherBackup, statusUpdateURL))
213         timer = SECONDS_BETWEEN_UPDATES
214     else:
215         logger.log("Updating in %d seconds ..." % timer)
216         timer = timer - 1
217     time.sleep(1)
```