UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y FORMALES

ESCUELA PROFESIONAL DE FÍSICA

"INFORME SOBRE LABORES REALIZADAS PARA EL ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE CALIDAD DEL SISTEMA DE MONITOREO DE LA CALIDAD DE AIRE EN ILO"

Informe presentado por la Bachiller

JESSICA GISSELA DEL CARPIO PINTO

Para optar el Título de Profesional de:

Licenciada en Física

Modalidad de Servicios Profesionales

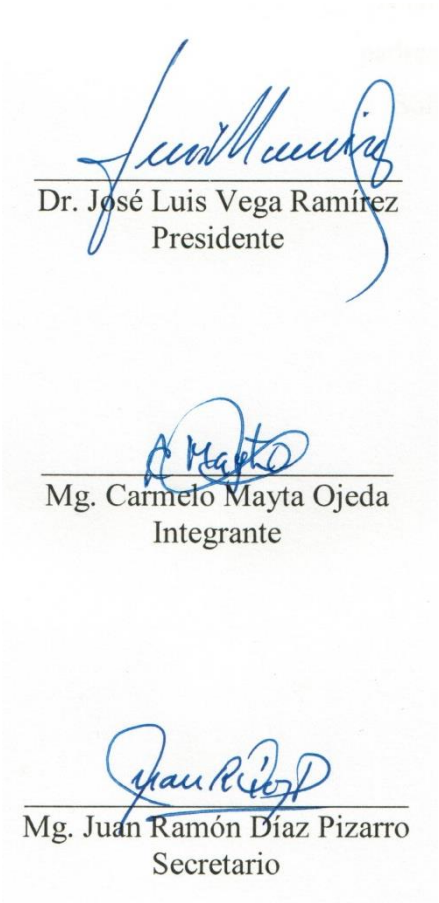
Arequipa - Perú

2019

“INFORME SOBRE LABORES REALIZADAS PARA EL ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE CALIDAD DEL SISTEMA DE MONITOREO DE LA CALIDAD DE AIRE EN ILO”

Informe presentado por la Bachiller:

JESSICA GISSELA DEL CARPIO PINTO



Fecha de aprobación, 19 de Julio del 2019, Arequipa

Dedicatoria

A Dios, fuente de sabiduría, a mis padres Santiago Del Carpio Lima y Sofía Pinto de Del Carpio por su apoyo, esfuerzo y oraciones.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios: Por permitirme llegar hasta este momento tan importante de mi vida y lograr la primera meta más importante en mi carrera profesional.

Este trabajo fue un reto continuo que fue posible gracias a todas las personas e instituciones que contribuyeron, directa o indirectamente, para la realización de este trabajo. Gracias a todas las personas que ayudaron lograr una meta.

A mis asesores: Dr. José Vega Ramírez, Carmelo Mayta Ojeda, Juan Diaz Pizarro: Por su generosidad al brindarme la oportunidad de recurrir a su capacidad y experiencia científica en la revisión del presente trabajo. A mis profesores Miguel Vizcardo Cornejo, Enrique Montoya Quiroz y David Pacheco Salazar, por brindarme sus concejos y opiniones, brindándome su orientación y apoyo durante mis estudios por la Escuela, sus enseñanzas y concejos aún prevalecen durante el ejercicio de mi desarrollo profesional.

A cada uno de los maestros: Que participaron en mi desarrollo profesional durante mi carrera.

A todos mis compañeros: Que estuvieron conmigo y compartimos tantas experiencias.

A mi esposo e hija: Por su cariño, compresión y apoyo incondicional.

La ciencia es el padre del conocimiento,
pero las opiniones son las que engendran la ignorancia

HIPÓCRATES

ÍNDICE GENERAL

		Pág.
DEDICATORIA		ii
AGRADECIMIENTOS		iii
INDICE GENERAL		v
RESUMEN		ix
INTRODUCCIÓN		01
1.	TRAYECTORIA PROFESIONAL	05
2.	OBJETIVOS	06
3.	ASPECTOS GENERALES	07
3.1.	Proyecto Monitoreo de la Calidad del Aire	07
	3.1.1. Fuentes de contaminación atmosférica en la ciudad de Ilo	09
	3.1.2. Dióxido de Azufre (SO_2) y efectos en la Salud	11
3.2.	Margo Legal	12
3.3.	Organización del proyecto	12
	3.3.1. Funciones del personal	13
3.4.	Equipos y métodos utilizados	14
	3.4.1. Descripción de la red de monitoreo	14
	3.4.2. Operación y funcionamiento de los equipos	15
4.	ASPECTOS EXPERIMENTALES	20
4.1.	Aseguramiento y control de Calidad del monitoreo	20
	4.1.1. Definición de los objetivos del monitoreo	21
	4.1.2. Diseño de la red de monitoreo y selección de sitios	21
	4.1.3. Calibraciones	25
	4.1.3.1. Calibraciones estándar	25
	4.1.3.2. Calibración dinámica o calibración multipunto	26
	4.1.4. Mantenimiento preventivo de los equipos	28
4.2.	Procesamiento de la información	30
	4.2.1. Análisis de la información	30
	4.2.2. Suficiencia de información	30
	4.2.3. Validación de la información	31
4.3.	Resultados del monitoreo de calidad del aire	32

4.4. Comparación con lineamientos de estándares nacionales e internacionales 49
5. PROBLEMAS Y DIFICULTADES DEL PROYECTO 51
5.1. Resultados de la Auditoria al Sistema de Monitoreo de Calidad del Aire 52
6. SITUACIÓN ACTUAL DEL PROYECTO DE CALIDAD DE AIRE 53
6.1. Cronología de eventos sobre calidad de aire 53
6.2. Comportamiento de los niveles de SO_2 en el tiempo 55
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 58
7.1. Conclusiones generales 58
7.2. Recomendaciones 60
8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 61
9. ANEXOS 64
9.1. Procedimiento de calibración del analizador automático de dióxido de azufre 64

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N° 01.- Terminal Terrestre de Ilo ubicado en la Pampa Inalámbrica 08
Gráfico N° 02.- Industria minero metalúrgica, fundición de la empresa SPCC 09
Gráfico N° 03.- Industria energética, Central Termoeléctrica la empresa Enersur 09
Gráfico N° 04.- Industria pesquera en Ilo 10
Gráfico N° 05.- Fuentes menores de contaminación, del sector comercial de Ilo 10
Gráfico N° 06.- Organigrama del Proyecto Monitoreo de la calidad del aire de Ilo 13
Gráfico N° 07.- Caseta de protección de los equipos de monitoreo 15
Gráfico N° 08.- Analizador automático de SO2 de fluorescencia pulsante 43W 15
Gráfico N° 09.- Esquema del principio de operación para un analizador de SO_2 16
Gráfico N° 10.- Tarjeta de adquisición de datos CIO-DAS8JR/16 17
Gráfico N° 11.- Cajas de protección de los equipos de monitoreo 18
Gráfico N° 12.- Estabilizador de voltaje de estado sólido 18
Gráfico N° 13.- Estación meteorológica 19
Gráfico N° 14.- Puntos de monitoreo del proyecto monitoreo de la calidad de aire 23
Gráfico N° 15.- Vista externa e interna de la caseta de protección de los equipos 24
Gráfico N° 16.- Curva de calibración estándar del analizador automático 26
Gráfico N° 17.- Calibrador multipunto Thermo Environmental Instrument 146C 27
Gráfico N° 18.- Curva de calibración multipunto del analizador automático 28
Gráfico N° 19.- Concentraciones de SO_2 ($\mu g/m^3$) - 24 horas, Ciudad Jardín 1998 32

Gráfico N° 20.- Concentraciones de SO_2 ($\mu g/m^3$) - 24 horas, El Algarrobal 1998 32
Gráfico N° 21.- Concentraciones de SO_2 ($\mu g/m^3$) - 24 horas, Miramar 1998 33
Gráfico N° 22.- Concentraciones de SO_2 ($\mu g/m^3$) - 24 horas, Alto Ilo 1998 33
Gráfico N° 23.- Concentraciones de SO_2 ($\mu g/m^3$) - 24 horas, Ciudad Jardín 1999 34
Gráfico N° 24.- Concentraciones de SO_2 ($\mu g/m^3$) - 24 horas, El Algarrobal 1999 34
Gráfico N° 25.- Concentraciones de SO_2 ($\mu g/m^3$) - 24 horas, Miramar 1999 35
Gráfico N° 26.- Concentraciones de SO_2 ($\mu g/m^3$) - 24 horas, Alto Ilo 1999 35
Gráfico N° 27.- Concentraciones de SO_2 ($\mu g/m^3$) - 24 horas, P. Inalámbrica 1999 36
Gráfico N° 28.- Concentraciones de SO_2 ($\mu g/m^3$) - 24 horas, Pampa de Palo 1999 36
Gráfico N° 29.- Concentraciones de SO_2 ($\mu g/m^3$) - 24 horas, Ciudad Jardín 2000 37
Gráfico N° 30.- Concentraciones de SO_2 ($\mu g/m^3$) - 24 horas, El Algarrobal 2000 37
Gráfico N° 31.- Concentraciones de SO_2 ($\mu g/m^3$) - 24 horas, Miramar 2000 38
Gráfico N° 32.- Concentraciones de SO_2 ($\mu g/m^3$) - 24 horas, Alto Ilo 2000 38
Gráfico N° 33.- Concentraciones de SO_2 ($\mu g/m^3$) - 24 horas, P. Inalámbrica 2000 39
Gráfico N° 34.- Concentraciones de SO_2 ($\mu g/m^3$) - 24 horas, Pampa de Palo 2000 39
Gráfico N° 35.- Concentraciones de SO_2 ($\mu g/m^3$) - 24 horas, Punta de Bombón 2000 40
Gráfico N° 36.- Concentraciones de SO_2 ($\mu g/m^3$) - 24 horas, Ciudad Nueva 2001 41
Gráfico N° 37.- Concentraciones de SO_2 ($\mu g/m^3$) - 24 horas, El Algarrobal 2001 41
Gráfico N° 38.- Concentraciones de SO_2 ($\mu g/m^3$) - 24 horas, Miramar 2001 42
Gráfico N° 39.- Concentraciones de SO_2 ($\mu g/m^3$) - 24 horas, Alto Ilo 2001 42
Gráfico N° 40.- Concentraciones de SO_2 ($\mu g/m^3$) - 24 horas, P. Inalámbrica 2001 43
Gráfico N° 41.- Concentraciones de SO_2 ($\mu g/m^3$) - 24 horas, Punta de Bombón 2001 43
Gráfico N° 42.- Concentraciones de SO_2 ($\mu g/m^3$) - 24 horas, El Algarrobal 2002 44
Gráfico N° 43.- Concentraciones de SO_2 ($\mu g/m^3$) - 24 horas, Ciudad Nueva 2002 44
Gráfico N° 44.- Concentraciones de SO_2 ($\mu g/m^3$) - 24 horas, Miramar 2002 45
Gráfico N° 45.- Concentraciones de SO_2 ($\mu g/m^3$) - 24 horas, Alto Ilo 2002 45
Gráfico N° 46.- Concentraciones de SO_2 ($\mu g/m^3$) - 24 horas, P. Inalámbrica 2002 46
Gráfico N° 47.- Concentraciones de SO_2 ($\mu g/m^3$) - 24 horas, Pampa de Palo 2002 46
Gráfico N° 48.- Concentraciones de SO_2 ($\mu g/m^3$) - 24 horas, Punta de Bombón 2002 47
Gráfico N° 49.- Promedios anuales de SO_2 ($\mu g/m^3$), provincia de Ilo - 1999 a 2002 48
Gráfico N° 50.- Emisiones de SO_2 de Fuentes Fijas en la provincia de Ilo 56
Gráfico N° 51.- Promedios Anuales de los niveles de concentración de SO_2 ($\mu g/m^3$) 57
Gráfico N° 52.- Medidor de flujo del analizador 64

Gráfico N° 53.- Tubo de carbón activado 65
Gráfico N° 54.- Medición de voltaje en el multímetro 66
Gráfico N° 55.- Instalación de la válvula y la manguera de teflón 66
Gráfico N° 56.- Instalación del Rotámetro y el conector T 67
Gráfico N° 57.- Lectura de Rotámetro e instalación de calibración 67

ÍNDICE DE CUADROS Y/ TABLAS

Cuadro N° 01.- Resumen de la experiencia profesional 03
Cuadro N° 02.- Ubicación y objetivos para instalar los monitores 07
Cuadro N° 03.- Normas de referencia y metodología para medición de gases 08
Cuadro N° 04.- Efectos en la salud humana por exposición a dióxido de azufre 11
Cuadro N° 05.- Programa de mantenimiento preventivo del proyecto 29
Cuadro N° 06.- Registro de información de SO_2 del periodo 1999 31
Cuadro N° 07.- Registro de información de SO_2 del periodo 2000 31
Cuadro N° 08.- Comparación con normas nacionales e internacionales 1998 49
Cuadro N° 09.- Comparación con normas nacionales e internacionales 1999 49
Cuadro N° 10.- Comparación con normas nacionales e internacionales 2000 50
Cuadro N° 11.- Comparación con normas nacionales e internacionales 2001 50

RESUMEN

El presente informe para optar el Título Profesional de Licenciada en Física, bajo la modalidad de Servicios Profesionales, tiene por finalidad describir el desarrollo de las actividades y la prestación de los servicios profesionales realizados en el proyecto Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire, implementado por la Municipalidad Provincia de Ilo, durante el periodo de prestación de los servicios entre 1998 y 2002.

Este proyecto fue implementado debido a la problemática ambiental generada por los elevados niveles de concentración de dióxido de azufre en la provincia de Ilo.

La metodología de medición utilizada fueron mediante analizadores automáticos de dióxido de azufre, cuyo principio se basa la reacción del gas muestreado que produce una luz fluorescente, se mide esta luz por medio de un detector que produce una señal eléctrica proporcional a la concentración del contaminante muestreado.

Durante los primeros años de ejecución del proyecto, no se contaban en el país con protocolos para estandarizar los procedimientos para el monitoreo de la calidad de aire, por lo que los procedimientos utilizados fueron tomados de la Agencia de Protección Ambiental EPA de los Estados Unidos.

Este proyecto tuvo dos etapas, la primera etapa se realizó entre los años de 1997 y 1998, con la evaluación ambiental de la calidad de aire en la ciudad de Ilo, mediante un monitoreo indicativo, cuyos resultados mostraron que las concentraciones promedio anuales de dióxido de azufre (SO_2) variaron desde 136 hasta 408 $\mu g/m^3$, asimismo, la segunda etapa se inició en 1998, con el establecimiento de un sistema de monitoreo permanente de la calidad de aire, con la instalación de seis analizadores automáticos de dióxido de azufre (SO_2), cuyos resultados mostraron niveles de concentración diaria de hasta 1038 $\mu g/m^3$ en la estación de monitoreo de Miramar en el Puerto de Ilo en el mes de enero de 1999, asimismo, hasta 1145 $\mu g/m^3$ en la misma estación de monitoreo en el mes de abril del año 2000, superando ampliamente el nivel máximo permisible de 572 $\mu g/m^3$, aprobado con Resolución Ministerial N° 315-96-EM/VMM.

En este sentido, en la primera parte del presente informe, se especifican cronológicamente los periodos de prestación de los servicios profesionales, así como las funciones desarrolladas en el proyecto Monitoreo de la Calidad de Aire en Ilo.

ABSTRACT

The present report for the title The professional title of the degree in the profession, the service of the professionals, the development of the activities and the service of the professional services carried out in the project Monitoring of the Environmental Quality of the Air, implemented by the Municipality Province of Ilo, during the period of provision of services between the periods of 1998 to 2002.

This project was implemented due to the environmental problems generated by the high concentration levels of sulfur dioxide in the province of Ilo.

The measurement methodology used was by means of automatic sulfur dioxide analyzers, whose principle is based on the reaction of the sampled gas produces a fluorescent light, this light is measured by means of a detector that produces an electrical signal proportional to the concentration of the pollutant sampled.

During the first years of execution of the project, there were no protocols in the country to standardize the procedures for air quality monitoring, so the procedures used were taken from the United States Environmental Protection Agency (EPA).

This project had two stages, the first stage was carried out between 1997 and 1998, with the environmental evaluation of the air quality in the city of Ilo, through an indicative monitoring, whose results showed that the average annual concentrations of dioxide sulfur (SO2) varied from 136 to 408 μg/m^3, likewise, the second stage started in 1998, with the establishment of a permanent air quality monitoring system, with the installation of six automatic sulfur dioxide analyzers (SO_2), whose results showed daily concentration levels of up to 1038 μg/m^3 at the Miramar monitoring station in the Port of Ilo in January 1999, also, up to 1145 μg/m^3 at the same monitoring station in the month of April of the year 2000, exceeding widely the maximum permissible level of 572 μg/m^3, approved with Ministerial Resolution N ° 315-96-EM/VMM.

In this sense, in the first part of this report, the periods of provision of professional services are specified chronologically, as well as the functions developed in the project Monitoring Air Quality in Ilo.

INTRODUCCIÓN

Se considera como contaminación del aire a la adición de cualquier sustancia que altere sus propiedades físicas o químicas. (Martínez Bolívar & Romieu, 1997) y que en determinados niveles de concentración en el aire genera riesgos a la salud y al bienestar humanos.

Tres famosos episodios de contaminación del aire que generaron muertes, ocurrieron en el siglo XIX, en 1930 en Meuse Valley en Bélgica; en 1948 en Donora en Pensilvania y en 1930 en Londres en Inglaterra, cuyas principales causas fueron la quema generalizada de combustibles fósiles, la proliferación de procesos industriales, los cuales generan diferentes contaminantes del aire como dióxido de azufre, material particulado, entre otros, estos eventos de contaminación, coincidieron con una condición meteorológica conocida como la inversión térmica, lo cual causo el evento (CEPIS, 2005). La inversión térmica es un fenómeno, que ocurre cuando las capas de aire de la atmósfera inferior son más frías que las superiores, lo cual genera que la circulación natural sufra una interrupción y tanto el aire superficial acumulado como los contaminantes del aire se concentran alrededor de sus fuentes. (CEPIS, 2005)

Antes del inicio del proyecto Monitoreo de Calidad de Aire de Ilo, a fines de los años 90, la ciudad de Ilo, era considerada una ciudad intermedia y uno de los puertos más importantes del sur del país, debido al desarrollo de algunas actividades económicas como la minero-metalúrgica, las actividades pesqueras, el comercio y las actividades portuarias (Kamst, 1998).

Uno de los principales problemas en la ciudad de Ilo, desde los años 60, fueron los efectos de la contaminación atmosférica en la salud, (Balvin Diaz, 1995). Para investigar esta problemática ambiental, en el año 1996 se formó una entidad multisectorial denominada, Comité de Manejo Ambiental (CMA), la cual estuvo conformada por la Municipalidad Provincial de Ilo (MPI), la ONG Asociación Civil Labor, la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA) del Ministerio de Salud, la Dirección Regional de Salud Moquegua, la Dirección Regional de Pesquería, la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohman de Tacna, la Universidad Nacional San Agustín de Arequipa (UNSA), empresas privadas pesqueras y el Consejo Nacional del Ambiente (CONAM). (Kamst, 1998).

En junio de 1996, la DIGESA ejecutó un estudio preliminar de calidad de aire, por un periodo de dos semanas, este monitoreo permitió concluir que era necesario efectuar una evaluación permanente de calidad del aire en la provincia de Ilo, para evaluar los niveles de Partículas Totales en Suspensión y dióxido de azufre, esta evaluación debería ser complementado con un monitoreo meteorológico. (Narciso Chávez, 1996)

En el año 1997, durante la visita a la ciudad de Ilo, de un delegado de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y del Director del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria (CEPIS), recomendaron la importancia de implementar un sistema de monitoreo ambiental de dióxido de azufre (SO_2), con la finalidad de informar y proteger la salud de la población, asimismo, identificaron que las emisiones atmosféricas, provenían principalmente de los procesos de fundición y refinación de concentrados de cobre. (Kamst, 1998)

La falta de información consistente, sobre los niveles de concentración de dióxido de azufre (SO_2) fue la principal limitante para que el Comité de Manejo Ambiental, liderada por la Municipalidad Provincial de Ilo, implemente una política de prevención, control y mitigación de los impactos negativos en la calidad del aire en el área urbana de la ciudad de Ilo, en este sentido, en marco de las recomendaciones realizadas, por organismos internacionales como la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria (CEPIS) y, organismos nacionales como la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA) del Ministerio de Salud (MINSA), se inició una serie de actividades que se orientaron a obtener información y determinar con mayor grado de precisión los niveles de contaminación atmosférica. (Kamst, 1998)

Entre junio de 1997 y junio de 1998, se inició una primera fase con la realización de un monitoreo indicativo de Calidad de Aire en cinco lugares de la ciudad de Ilo, en el Centro de Salud Alto Ilo, en el Centro de Salud Miramar y en el Centro de Salud de la Pampa Inalámbrica, los cuales se encuentran ubicados en el distrito de Ilo, en Ciudad Jardín, ubicado en el distrito de Pacocha y en el Museo del Valle Algarrobal, ubicado en el distrito de El Algarrobal, para lo cual utilizaron tubos pasivos denominados “Tubos Palmes”, los resultados de este monitoreo indicativo mostraron que las concentraciones promedio anuales de dióxido de azufre (SO_2) variaron desde 136 hasta 408 $\mu g/m^3$, proporcionando una distribución geográfica de contaminación en la ciudad, e información de ocurrencia de altos niveles de concentración de contaminantes, los cuales disminuyen al

ser promediados en periodos de un año, por lo que se recomendó la implementación de un sistema de monitoreo permanente de calidad de aire, con el fin de tener información científica (Kamst, 1998).

En julio de 1998, se inició la segunda fase, con el establecimiento de la red de monitoreo permanente de la calidad de aire, con la instalación de seis monitores automáticos para medir la concentración de SO_2, los cuales fueron donados por la Organización Mundial de la Salud y el RlVM (Instituto Nacional de Salud Pública y Medio Ambiente) de Holanda, siendo el 06 de noviembre de 1998, la fecha en que se iniciaron mis actividades en el Proyecto Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire en Ilo.

La importancia de implementar un sistema de monitoreo de calidad del aire, se debe a que este tipo de estudios permite implementar estrategias de control y políticas de desarrollo acordes con los ecosistemas locales, y desarrollar programas para el manejo de la calidad del aire, asimismo, permite generar una base de datos que aporta información para formular estándares de calidad de aire, llevar a cabo estudios epidemiológicos que relacionen los efectos de las concentraciones de los contaminantes con los daños en la salud, así como especificar tipos y fuentes emisoras. (Martínez Bolívar & Romieu, 1997)

Es el caso que el Proyecto de Monitoreo de la Calidad de Aire en Ilo (MPI, 2000) que fue implementado entre los años 1997 y 1998, fue debido a que si bien se evidenciaba la presencia de humos provenientes de la fundición de la empresa SPCC, no se contaba con información técnica sobre los niveles de concentración de dióxido de azufre en el aire, por lo que la Municipalidad Provincial de Ilo, en el año 1985 promulgó la Ordenanza Municipal N° 06-85-CPI que establecía la obligación de la empresa SPCC de reportar semanalmente a la Municipalidad Provincial de Ilo, los controles que efectuaba de las concentraciones de dióxido de azufre de todas sus estaciones de control instaladas en Ilo. Sin embargo, la empresa SPCC argumentó que la obligación de reportar las concentraciones de SO_2 resultaba una violación a la propiedad privada, y que la responsabilidad del control de sus actividades le correspondía al Ministerio de Energía y Minas. (Balvin Diaz, 1995)

En este sentido, el Proyecto de Monitoreo de la Calidad de Aire en Ilo (MPI, 2000), permitió generar información utilizada como insumo para la elaboración de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire, aprobado con Decreto Supremo N° 074-2001-

PCM, asimismo, permitió implementar medidas para prevenir la afectación de la salud de la población más vulnerable de la ciudad de Ilo, con la implementación de un Plan de Contingencia Atmosférico. (Ordenanza 122, 2001).

Para la ejecución del Plan de Contingencia Atmosférico, se implementó una sistema de comunicación en tiempo real, entre un servidor instalado en la Municipalidad Provincial de Ilo y tres estaciones de monitoreo, con lo cual mediante un sistema de alertas se comunicaba principalmente a las instituciones educativas, cuando los eventos de contaminación superaban ciertos niveles.

El Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire (Decreto Supremo 074, 2001), estableció que 13 ciudades del país, entre ellas la ciudad de Ilo, fueron consideradas a nivel nacional, como las más críticas por sus altos niveles de contaminación del aire, por lo que deberían conformarse Grupos de Estudios Técnicos Ambientales Zonales de Aire, para la elaboración de planes de acción para el mejoramiento de la calidad de aire. Actualmente se encuentra vigente nuevos Estándares de Calidad Ambiental para Aire (Decreto Supremo 003, 2017).

El Grupo de Estudio Técnico Ambiental Zonal de Aire de Ilo, elaboró su Diagnóstico de Línea Base y Plan de Acción A Limpiar el Aire de Ilo, con información del monitoreo de la calidad de aire en Ilo. (Ordenanza Municipal 460, 2010).

Actualmente el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, en marco del macroproceso de fiscalización ambiental, realiza la vigilancia y monitoreo de la calidad de los componentes ambientales en zonas de influencia de las actividades económicas fiscalizables, en este sentido, viene implementado un Proyecto de Monitoreo y Vigilancia ambiental del aire en la provincia de llo (Resolución Ministerial 233, 2018).

En este sentido, el presente informe para optar el Título Profesional de Licenciada en Física, bajo la modalidad de Servicios Profesionales, describe el Proyecto de Monitoreo de la Calidad de Aire en Ilo desde su implementación y durante el periodo de prestación de los servicios profesionales entre los años 1999 y 2002, asimismo, presenta resultados de los niveles de concentración de dióxido de azufre de los periodos 2003 a la fecha (Ilo, 2019), esta información es pública y los resultados fueron y son publicados en la página web de la Municipalidad Provincial de Ilo.

1. TRAYECTORIA PROFESIONAL

La trayectoria profesional se detalla en el siguiente cuadro, en el cual se describen las funciones desarrolladas en el proyecto de monitoreo de calidad del aire en Ilo.

Cuadro N° 01.- Resumen de la experiencia profesional

Funciones desarrolladas en el proyecto monitoreo de la calidad de aire en Ilo	
• Procesamiento de datos de SO_2 de las seis estaciones de monitoreo. • Calibración y mantenimiento de los seis analizadores automáticos de SO_2. • Procesamiento de datos de los analizadores automáticos de SO_2. • Procesamiento de datos de estación meteorológica. • Elaboración de reportes semanales y mensuales de SO_2. • Otras actividades que le asigne la Dirección.	Periodo 2002
• Procesamiento de datos de SO_2 de las seis estaciones de monitoreo. • Calibración y mantenimiento de los seis analizadores automáticos de SO_2. • Procesamiento de datos de estación meteorológica. • Elaboración de reportes mensuales de SO_2 y reportes meteorológicos. • Otras actividades que le asigne la Dirección.	Periodo 2001
• Recopilación de datos de SO_2 de las seis estaciones de monitoreo. • Procesamiento e interpretación de datos del monitoreo de SO_2. • Aseguramiento y control de la calidad de información • Mantenimiento de los analizadores automáticos de SO_2. • Control de los analizadores automáticos de SO_2. • Instalación de una estación de monitoreo de SO_2 en la Punta de Bombón.	Periodo 2000
• Instalación de una estación de monitoreo de SO_2 en el sector Pampa El Palo. • Apoyo en la calibración y control de la operación de los analizadores automáticos de SO_2, de las seis estaciones de monitoreo. • Procesamiento de datos para reportes mensuales. • Otros servicios que sean requeridos por el responsable del proyecto.	Periodo 1999

Fuente: Contratos de Prestación de Servicios Profesionales a la Municipalidad Provincial de Ilo.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Describir el desarrollo de las actividades y la prestación de los servicios profesionales realizados en el proyecto Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire, implementado por la Municipalidad Provincia de Ilo, durante los periodos de 1998 al 2002.

2.2. Objetivos específicos

- Realizar un análisis descriptivo de la organización y funcionamiento del proyecto Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire.
- Detallar el desarrollo de actividades realizados para fines de aseguramiento y control de calidad del programa de monitoreo.
- Realizar un análisis de los resultados obtenidos del monitoreo en la provincia de Ilo frente a las normas vigentes, para determinar si los valores registrados superan los estándares de calidad ambiental del aire.
- Formular las recomendaciones, sugerencias y aportes necesarios para la optimización del programa de monitoreo.

3. ASPECTOS GENERALES

3.1. Proyecto Monitoreo de la Calidad del Aire

La evaluación de la calidad ambiental del aire en la ciudad de Ilo, se realizó a través del proyecto de monitoreo de la calidad del aire, que permitió determinar los niveles de concentración de dióxido de azufre (SO_2), asimismo, como complemento del sistema de monitoreo se contó con una estación meteorológica para medir los parámetros de velocidad y dirección del viento, humedad relativa, temperatura, y radiación solar.

Para este efecto, se seleccionaron seis (6) sitios para la instalación de los analizadores automáticos de dióxido de azufre.

Desde Abril 97 hasta Julio 1997, se realizó un monitoreo indicativo de calidad de Aire que tuvo como principal objetivo, determinar la distribución de los gases para la instalación de la red de monitoreo permanente, en este sentido, los resultados permitieron determinar la tendencia y la distribución de los gases entre los diferentes lugares de la ciudad de Ilo (Kamst, 1999), habiéndose sustentado la instalación de los analizadores automáticos, según se detalla en el siguiente cuadro.

Cuadro N° 02: Ubicación y objetivos para instalar los monitores en sus ubicaciones

N°	Ubicación del analizador de SO_2	Objetivos	Coordenadas UTM	
			Norte (m)	Este (m)
01	Ciudad Jardín	Precisar la exposición de la población	8052384	251176
02	El Algarrobal	Precisar la exposición de área agricultura	8050060	259276
03	C.S. Miramar	Precisar la exposición de la población	8048864	252179
04	C.S. Alto Ilo	Precisar la exposición de la población	8046787	251541
05	P. Inalámbrica	Precisar la exposición de la población	8046789	252676
06	Pampa del Palo	Precisar el impacto ambiental neto de Enersur	8052384	251176
07	Valle de Tambo	Precisar exposición de población y agricultura	8099304	203134
08	Term. Terrestre	Estación Meteorológica	8045694	252699

Fuente: Monitoreo Permanente de Calidad de Aire en Ilo, Resultados año 1998 en Ilo. (Kamst, 1998)

Asimismo, la estación meteorológica, fue ubicada en el Terminal Terrestre de Ilo:

Gráfico N° 01.- Terminal Terrestre de Ilo ubicado en la Pampa Inalámbrica

El proyecto de monitoreo de la calidad de aire de Ilo, se implementó considerando lo establecido en el Manual de Aseguramiento de la Calidad para Sistemas de Monitoreo de la Contaminación del aire, de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. (EPA, 1994)

Para la medición de los niveles de concentración de dióxido de azufre, se utilizaron analizadores automáticos de medición continua, los cuales han sido diseñados de tal manera que cumplen con las especificaciones técnicas del Código Federal de Regulaciones (CFR, por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos, además, cabe mencionar que éstos son evaluados y aprobados por la USEPA y otras agencias internacionales.

El método de referencia y la metodología de medición se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro N° 03.- Normas de referencia y metodología para medición de gases

Parámetros	Equipo	Modelo / Marca	Método de Referencia / Metodología de medición
Dióxido de azufre	Analizador automático	43W / Thermo Environmental Instrument	USEPA: EQSA-0486-060 Fluorescencia UV Pulsed Fluorescence SO_2 Analyzer

Fuente: Elaboración propia

3.1.1. Fuentes de contaminación atmosférica en la ciudad de Ilo

A fines de los años 90, en la ciudad de Ilo, se distinguían las siguientes fuentes de contaminación atmosférica: la industria minero-metalúrgica, la industria pesquera, la industria energética y fuentes menores de contaminación, como los establecimientos comerciales.

Gráfico N° 2.- Industria minero metalúrgica, fundición de la empresa SPCC

Fuente.- http://www.revistatecnicosmineros.com/wp-content/uploads/2017/08/acidos.jpg

Gráfico N° 3.- Industria energética, Central Termoeléctrica la empresa Enersur

Fuente.-http://semanaeconomica.com/wp-content/uploads/2018/03/Terminal-Engie-en-Moquegua.jpg

Gráfico N° 04.- Industria pesquera en Ilo

Fuente.- http://cde.elcomercio.e3.pe/66/ima/0/0/5/4/1/541973.jpg

Gráfico N° 5.- Fuentes menores de contaminación, del sector comercial de Ilo

Fuente.- Puerto de Ilo, vista desde Boca del Sapo

El proyecto de monitoreo de la calidad ambiental del aire en Ilo, se centró en estos años, en la evaluación de la contaminación del aire por presencia de gases de dióxido de azufre (SO_2) y partículas totales en suspensión (PTS), debido a su impacto en la salud pública y en los efectos en la agricultura.

Según resultados de los primeros monitoreos realizados, las emisiones de dióxido de azufre, eran producidas principalmente por la fundición de la empresa Southern Peru Copper Corporation y, también por la planta termoeléctrica de la empresa Enersur, una vez iniciada sus actividades.

3.1.2. Dióxido de Azufre (SO_2) y efectos en la Salud

El dióxido de azufre (SO_2) es un gas incoloro con un olor penetrante que se genera con la combustión de fósiles (carbón y petróleo) y la fundición de menas que contienen azufre. La principal fuente antropogénica del SO_2 es la combustión de fósiles que contienen azufre usados para la calefacción doméstica, la generación de electricidad y los vehículos a motor.

Sobre los efectos sobre la salud, el dióxido de azufre (SO_2) puede afectar al sistema respiratorio y las funciones pulmonares, y causa irritación ocular. La inflamación del sistema respiratorio provoca tos, secreción mucosa y agravamiento del asma y la bronquitis crónica; asimismo, aumenta la propensión de las personas a contraer infecciones del sistema respiratorio.

Cuadro N° 04.- Efectos en la salud humana por exposición a dióxido de azufre

Concentración en 24 horas ($\mu g/m^3$)	**Efecto observado**
400 - 900	Posible incremento de los síntomas respiratorios (tos, irritación de la garganta y silbidos en el pecho) en personas con asma.
500 - 1700	Incremento de la síntomas respiratorios en personas con asma y posible agravamiento de las personas con enfermedades pulmonares y cardíacas
1700 - 2300	Incremento significativo de los síntomas respiratorios en personas con asma y agravamiento de las personas con enfermedades pulmonares y cardíacas
2300 - 2900	Síntomas respiratorios severos en personas con asma y riesgo serio de agravamiento de las personas con enfermedades pulmonares y cardíacas
> 2900	Cambios en la función pulmonar y síntomas respiratorios en individuos sanos.

Fuente: CEPIS. (2005). Curso de Orientación para el Control de la Contaminación del Aire

3.2. Margo Legal

Durante los años del inicio del proyecto de monitoreo de la calidad de aire en Ilo, entre 1997 y 1998 aún no se contaba con estándares de calidad de aire para dióxido de azufre, la única norma en ese entonces fue la Resolución Ministerial N° 315-96-EM/VMM, que aprobaba los niveles máximos permisibles de elementos y compuestos presentes en emisiones gaseosas provenientes de las unidades minero metalúrgicas, esta norma establecía niveles máximos permisibles de calidad de aire para los parámetros de dióxido de azufre y partículas en suspensión, con concentraciones medias aritméticas diarias de 572 $\mu g/m^3$ y 350 $\mu g/m^3$ respectivamente.

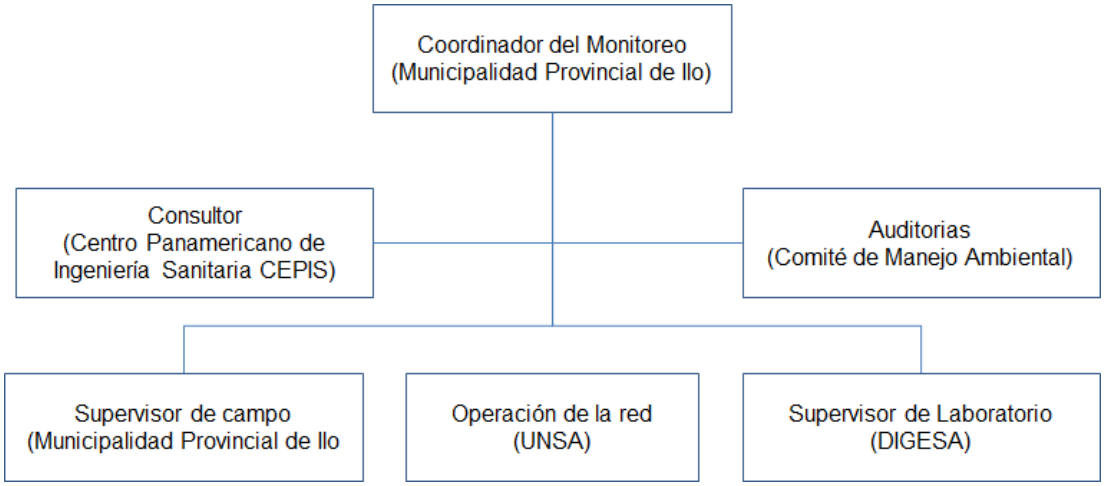
En el año 2001, mediante Decreto Supremo N° 074-2001-PCM, la Presidencia de Consejo de Ministros aprobó el Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire, la cual establecía estándares nacionales de calidad ambiental del aire para diferentes parámetros, entre ellos dióxido de azufre y material particulado PM10, con concentraciones medias aritméticas diarias de 365 $\mu g/m^3$ y 150 $\mu g/m^3$ respectivamente.

3.3. Organización del proyecto

Según la Agencia de Protección Ambiental EPA, en marco del aseguramiento y control de calidad, en todo programa de monitoreo de calidad ambiental del aire, es importante establecer una estructura organizacional bien definida, con niveles de responsabilidad, porque a través de ella se establece el nivel de participación y se determinan las funciones de cada uno de los miembro del programa (EPA, 1994).

En proyecto de monitoreo de la calidad ambiental del aire de Ilo, fue inicialmente un proyecto multisectorial, por lo que se definieron las funciones según los niveles de participación, según se muestra en el siguiente organigrama.

Gráfico N° 6.- Organigrama del Proyecto Monitoreo de la calidad del aire de Ilo



Fuente.- (Kamst, 1998)

3.3.1. Funciones del personal

A inicios del proyecto, el Coordinador del Monitoreo, fue el Ingeniero Alex Kamst, tuvo la responsabilidad del manejo integral del proyecto y del monitoreo. Sus funciones fueron la de realizar el planeamiento de acciones inherentes al proyecto, mantener relaciones exteriores, reportar y publicar los resultados, revisar el trabajo.

La función del consultor, Marcelo Korg del Centro Panamericano de Ingeniera Sanitaria, era independiente de la ejecución operativa del proyecto y su participación estuvo dirigida a dos tares fundamentales, en el Perú, en estos años, el campo de calidad de aire era relativamente nuevo y fue necesario contar con un consultor externo, en el proyecto, el CEPIS brindó los servicios de consultoría y apoyo para la elaboración del diseño del Plan de Contingencia Atmosférica para la ciudad de Ilo.

La supervisión de campo estuvo a cargo del personal de la Municipalidad Provincial de Ilo, quienes ejecutaron todas las acciones en el campo, relacionado al mantenimiento y control diario de los analizadores automáticos de dióxido de azufre (SO_2) y de la estación meteorológica. Asimismo, se responsabilizaron de la calibración de los analizadores automáticos, su control y operatividad, recolección de los datos y mantenimiento preventivo de los equipos, los trabajos se realizaron en coordinación con el coordinador del proyecto, generando reportes sobre el funcionamiento del equipo y alcanzando la información de los reportes de monitoreo.

El operador de la Red, estuvo a cargo de la UNSA, a través de la Escuela Profesional de Física, todas las acciones técnicas con relación a los analizadores automáticos o los datos estuvieron bajo su responsabilidad. El profesional designado trabaja con el coordinador y el supervisor de campo; sus funciones consisten en el control del procesamiento de datos de los analizadores de dióxido de azufre (SO_2), y datos meteorológicos, archivar y entregar los datos procesados al coordinador y brindar apoyo en la programación de las tarjetas de datos e instalación de los equipos.

Entre los años 2000 y 2001 el proyecto de monitoreo de la calidad ambiental del aire de Ilo, fue asumido de forma integral por la Municipalidad Provincial de Ilo en convenio con la Dirección General de Salud Ambiental, la Municipalidad Distrital de Pacocha, la Municipalidad Distrital El Algarrobal, Municipalidad Distrital de la Punta de Bombón, con el apoyo de profesionales de la Escuela Profesional de Física de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.

3.4. Equipos y métodos utilizados

3.4.1. Descripción de la red de monitoreo

La Red de Monitoreo automático estuvo conformada por seis estaciones de monitoreo de la calidad ambiental del aire, tres de las cuales estuvieron interconectadas por línea telefónica a una estación central ubicada en el Palacio Municipal de Ilo. Cada una de las estaciones de monitoreo contaba con lo siguiente:

- Un analizador automático de dióxido de azufre.
- Un sistema de adquisición de datos, una PC con una tarjeta DAS 08Jr.
- Una caseta de protección dentro del cual se encuentran los equipos.
- Líneas de muestra, mangueras de material inerte (teflón).
- Sistemas de protección de energía eléctrica (estabilizador de voltaje).
- Conexión de línea telefónica (solo en tres de las seis estaciones)
- Ventilador en reemplazo de un equipo de aire acondicionado.
- Cables de conexión
- Cuaderno de campo, para el registro de las actividades realizadas
- Estación meteorológica

Gráfico N° 07.- Caseta de protección de los equipos de monitoreo.

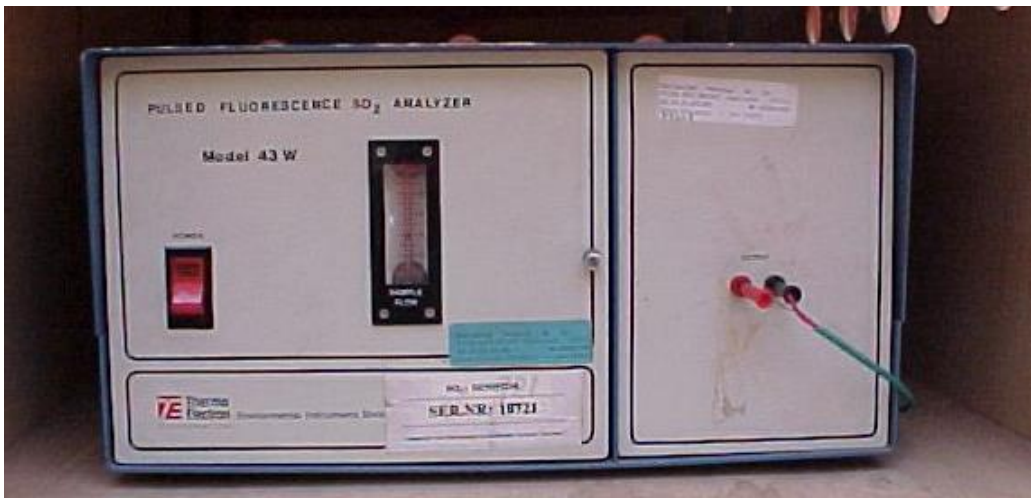
Fotografía N° 01.- Vista exterior de la caseta protectora de los equipos de monitoreo.

Fotografía N° 02.- Vista interior de la caseta protectora de los equipos de monitoreo

3.4.2. Operación y funcionamiento de los equipos

El analizador automático de dióxido de azufre de fluorescencia pulsante, de la marca Thermo Environmental Instruments Inc. modelo 43W, es un instrumento analítico para la medición permanente de las concentraciones del dióxido de azufre emitidas al aire ambiental. La técnica de fluorescencia pulsante para analizar el dióxido de azufre, fue una de las primeras técnicas usadas por la Empresa Thermo Electron.

Gráfico N° 8.- Analizador automático de SO_2 de fluorescencia pulsante 43W

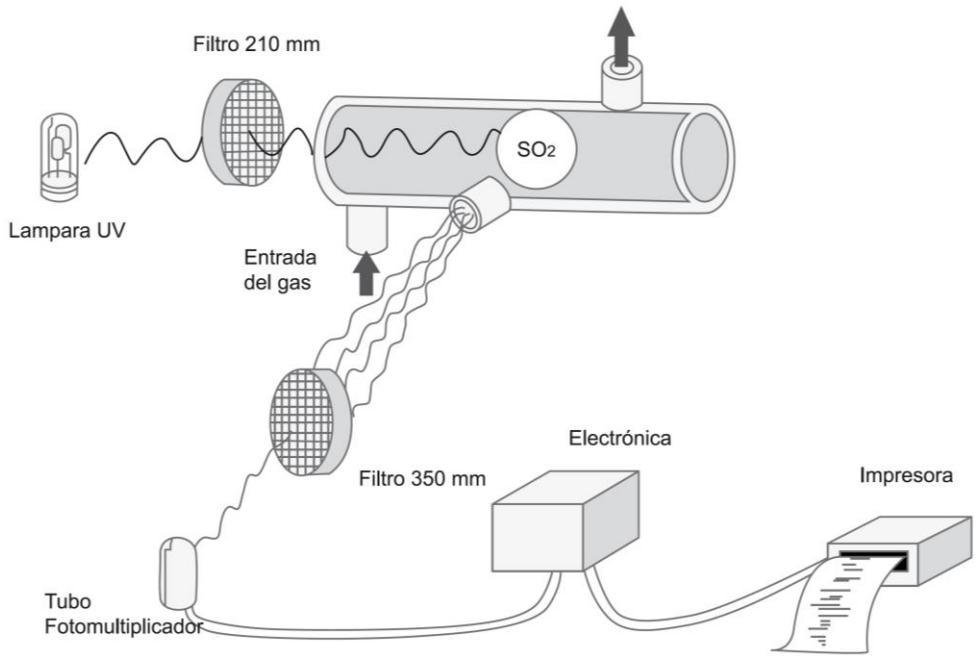


El principio de fluorescencia pulsante que se basa en el hecho de que las moléculas de dióxido de azufre absorben radiación ultravioleta (UV) a una longitud de onda en el intervalo de 210-410 nm, entrando en un estado instantáneo de excitación para posteriormente decaer a un estado de energía inferior, emitiendo un pulso de luz fluorescente de una longitud de onda mayor en el intervalo de 240 a 410 nm como se indica en la siguiente reacción:

$$SO_2 + \eta\gamma_{210nm} \longrightarrow SO_2^* \longrightarrow SO_2^* + \eta\gamma_{240-410nm}$$

La intensidad de la luz fluorescente emitida es proporcional a la concentración de SO_2. El principio de operación y los componentes básicos de un analizador de este tipo se muestran en la siguiente figura (INE, 2010).

Gráfico N° 9. Esquema del principio de operación para un analizador de SO_2.



Fuente.- Manual 3 Redes estaciones y equipos de medición de calidad del aire.

El funcionamiento del analizador automático de dióxido de azufre, depende de la excitación fluorescente del SO_2 por la radiación ultravioleta. Este instrumento opera enfocando pulsos de luz ultravioleta a través de un filtro estrecho de banda paso en una cámara fluorescente donde excita moléculas de SO_2 las cuales entonces emiten un decaimiento de radiación característica.

Un segundo filtro estrecho permite solo que esta radiación caiga en un sensible tubo fotomultiplicador, y la señal electrónica de este dispositivo está en proporción directa a la concentración de la muestra de SO_2

El sistema de adquisición de datos del proyecto de monitoreo de calidad ambiental del aire, estuvo compuesto por computadoras con microprocesador Intel 80286, también conocidas como computadoras 286, con sistema operativo DOS y una tarjeta de adquisición de datos modelo CIO-DAS08/Jr-AO de la marca Computer Boards Inc., el software para la programación de la tarjeta fue el DATALAB, el cual era un programa para análisis estadístico de datos. La tarjeta de adquisición de datos, es una interface que permite registrar y almacenar en la computadora, los voltajes registrados por el analizador automático de dióxido de azufre cada 60 segundos.

Gráfico N° 10.- Tarjeta de adquisición de datos CIO-DAS8JR/16

Fuente.-https://www.mccdaq.com/images/photos_500/CIO-DAS08JR16-AO_500.jpg

La caja de protección, fue construida y diseñada para proteger a los equipos del polvo, de robos, y que sean manipulados por personas ajenas, asimismo, contaba con agujeros de ventilación y fue diseñada para instalar un ventilador en la parte posterior.

Para evitar daños de la parte electrónica de los analizadores automáticos, estos deben operar bajo ciertas condiciones de temperatura, por lo que se instalaron ventiladores para evitar el incremento de la temperatura dentro de las cajas de protección, sobre todo en temporadas de verano.

Gráfico N° 11.- Cajas de protección de los equipos de monitoreo

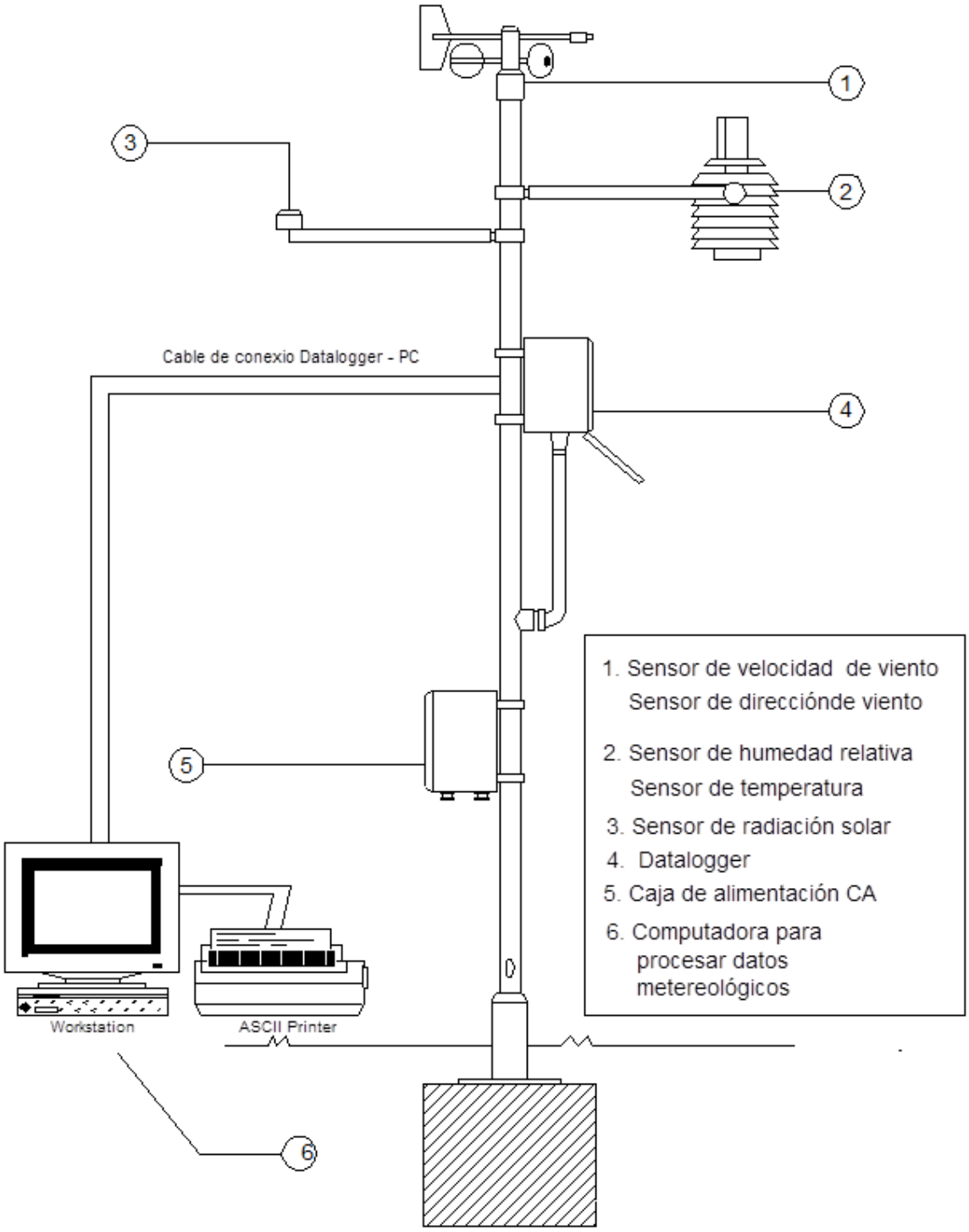
Los estabilizador de voltaje, son dispositivos de protección eléctrica de los equipos, debido a que evitan en casos de fluctuaciones, picos altos y bajos de corriente, lo cual podría dañar a los equipos.

Gráfico N° 12.- Estabilizador de voltaje de estado sólido

Las líneas de muestra, son mangueras de material inerte (teflón), por medio de las cuales, la bomba neumática del analizador automático de dióxido de azufre, succiona aire ambiental con muestra de dióxido de azufre, para ser ingresada al analizador.

La estación meteorológica, de la marca BABUC-ABC, modelo DGB055, provee información indispensable para determinar la procedencia y eventos de ocurrencia de los niveles de contaminación atmosférica.

Gráfico N° 13.- Estación meteorológica



4. ASPECTOS EXPERIMENTALES

4.1. El Aseguramiento de la Calidad y Control de Calidad (AC y CC)

El Aseguramiento de la Calidad y Control de Calidad, constituyen una parte esencial de todos los sistemas de medición, pues incluyen toda una secuencia de actividades que aseguran que una medición cumpla las normas de calidad establecidas con un nivel establecido de confiabilidad. (PNUMA/OMS, 2002)

Básicamente, el Aseguramiento de la Calidad se refiere a la gestión general de todo el proceso, gestión que permite obtener datos de una calidad definida, mientras que el Control de Calidad comprende las actividades realizadas para obtener cierta exactitud y precisión en la medición. (PNUMA/OMS, 2002)

La implementación de un programa de Aseguramiento de la Calidad y Control de Calidad (AC y CC), implica el diseñar un plan que cubra todas las fases importantes que se deben cumplir antes de la medición, desde la definición de los objetivos de calidad de los datos, el diseño del sistema y la elección del sitio hasta la evaluación y uso del equipo, capacitación del operador y, las funciones de control de calidad incluirán directamente las actividades relacionadas con la medición; es decir, la operación de la red, la calibración, el manejo de los datos, la capacitación del personal. (PNUMA/OMS, 2002)

Para el desarrollo de un plan de aseguramiento de la calidad, inicialmente debe definirse los objetivos del monitoreo, relacionados con la calidad de los datos (exactitud, precisión, completitud, representatividad, comparabilidad)

Para el aseguramiento de la calidad, se debe diseñar la red de monitoreo, selección de sitios, instrumentos de medición, diseñar un sistema de muestreo y desarrollar un programa de capacitación.

Para el control de calidad, se deben preparar protocolos (procedimientos normalizados de operación y mantenimiento de registros) para la operación en los sitios y para el mantenimiento de los equipos, asimismo, protocolos para la calibración de los equipos, para la inspección, verificación y validación de datos, asimismo, contar con un cronograma de visitas al sitio.

Para la evaluación de la calidad, se debe implementar un cronograma para auditorías y reportes.

4.1.1. Definición de los Objetivos del monitoreo

Lo primero en el diseño y la implementación de cualquier sistema de monitoreo es definir todos los objetivos que se pretenden y derivar de estos los requerimientos de datos que se necesitan para llevarlos a cabo.

En este sentido, el programa de monitoreo permanente de calidad de aire en Ilo, definió su objetivo general como la generación de información de manera continua y en tiempo real, para generar una bases de datos confiables de calidad ambiental del aire en el área urbana, que permita la implementación de un Plan de Contingencias y otras acciones ambientales, con la única finalidad de mejorar la calidad de aire y calidad de vida en las áreas de influencia.

Entre sus objetivos específicos, estuvieron el establecer una línea de base científica, como instrumento de gestión ambiental en la calidad de aire, alcanzar la información obtenida a organismos del Estado (MEM, CONAM, DIGESA), a fin de contribuir a legislar y/o promulgar el reglamento de estándares locales de calidad de aire en áreas urbanas y rurales, implementar un plan de contingencia minimizando los impactos negativos en la población de Ilo, evaluar el cumplimiento del PAMA de SPCC y ENERSUR, en el control de las emisiones atmosféricas, así como aportar información científica que contribuyan a la elaboración de estudios epidemiológicos e investigación sobre la incidencia en el PH en cultivos menores.

4.1.2. Diseño de la red de monitoreo y selección de sitios

En base al objetivo general, el cual establece la generación de una base de datos de calidad de aire en el área urbana, se definió la escala espacial urbana del proyecto de monitoreo de calidad del aire, definida por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) como la dimensión física del área a ser estudiada.

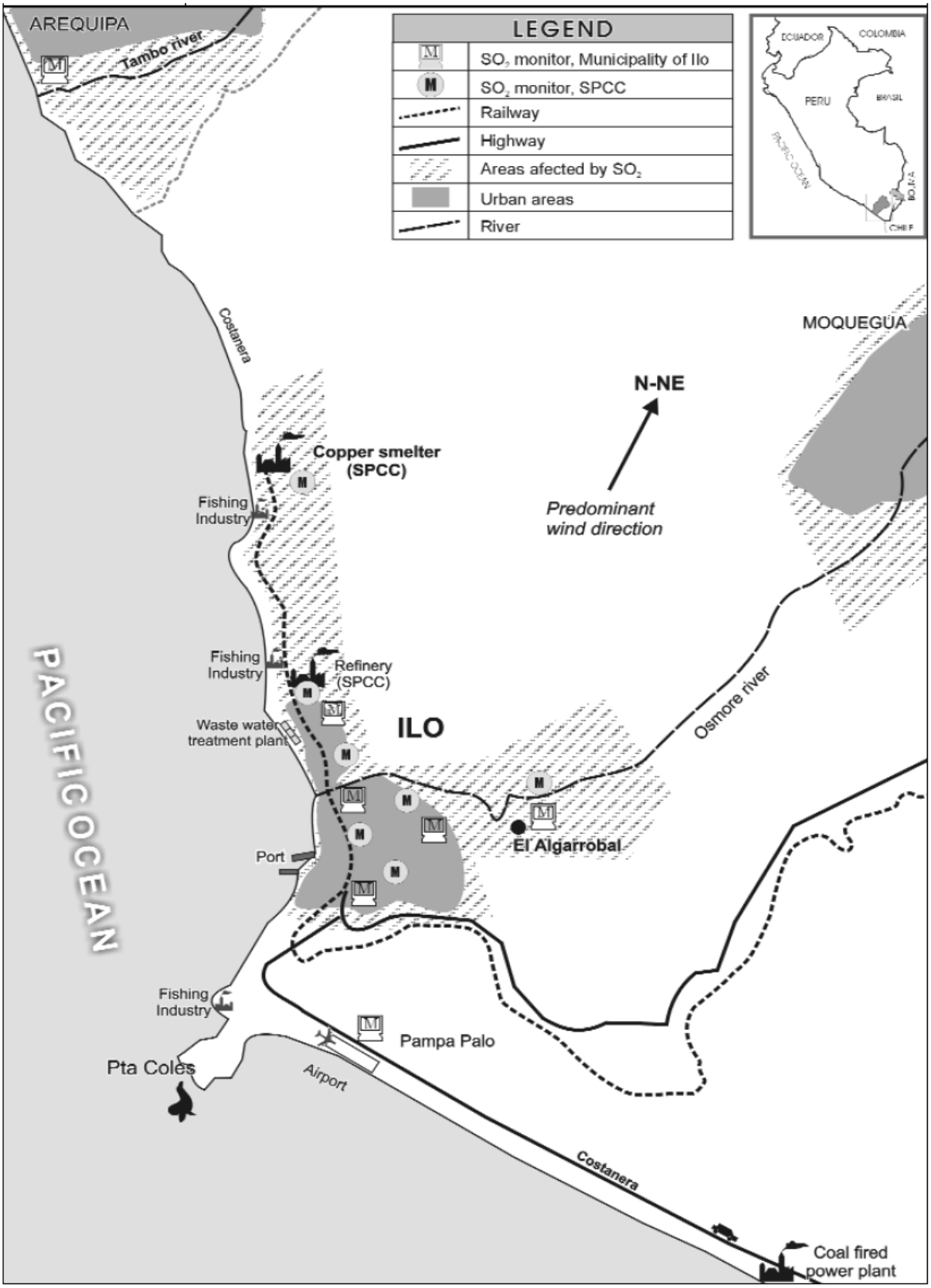
En la primera etapa del proyecto Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire en Ilo, se realizó un monitoreo Indicativo con muestreadores pasivos “Tubos de difusión Palmes”, ejecutado entre junio de 1997 hasta junio de 1998, para medir los niveles de concentración de dióxido de azufre (SO_2) en cinco lugares de la ciudad, los resultados de este monitoreo indicativo permitieron determinar promedios anuales de dióxido de azufre (SO_2) que variaron desde 136 hasta 408 $\mu g/m^3$, asimismo, proporcionaron una distribución geográfica

de los niveles de contaminación en la ciudad (Herrera, 2002), lo cual permitió diseñar la red de monitoreo de calidad ambiental del aire para la ciudad de Ilo.

En este sentido, con la información obtenida en el monitoreo indicativo, se definió la ubicación de las estaciones de monitoreo permanente de calidad de aire en Ilo, las cuales fueron instaladas estratégicamente en siete (07) lugares en el ámbito del área de impacto, en los cuales se distinguieron dos áreas de influencia en los receptores de la contaminación atmosférica, en los centros urbanos y las áreas agrícolas (Kamst, 1998).

En este sentido las estaciones de monitoreo que fueron ubicadas en los centros urbanos fueron Centro de Salud Miramar, Centro de Salud Pampa Inalámbrica, Centro de Salud Alto Ilo, CETICOS Ilo, Ciudad Jardín, Ex Club Obreros y, en las áreas agrícolas en el museo Algarrobal ubicado en el distrito de El Algarrobal (Kamst, 1998), asimismo, una estación de monitoreo fue instalada en el distrito de la Punta de Bombón, en la provincia de Islay, en el departamento de Arequipa.

Gráfico N° 14.- Puntos de monitoreo del proyecto monitoreo de la calidad de aire



Fuente: Artículo "Proyecto Ilo Aire Limpio - 2001" del Vol. 13, Revista Environment&Urbanization.

Otro de los aspectos considerados en el Aseguramiento y Control de Calidad, son los criterios de ubicación de las estaciones de monitoreo, las cuales deberían cumplir con ciertas especificaciones.

- Debe tener fácil acceso para realizar visitas regulares y recolectar muestras, realizar inspecciones, calibraciones o para su mantenimiento.
- Debe estar protegido de posibles actos de vandalismo u otros que alteren la toma de muestras.
- Debe contar con infraestructura necesaria como electricidad y líneas de teléfono para poder operar cualquier tipo de equipo de muestreo en el sitio.

Considerando todos estos aspectos, las estaciones de monitoreo del proyecto de monitoreo de calidad ambiental del aire de Ilo, estuvieron acondicionadas en casetas protectoras, para evitar posibles robos y/o actos de vandalismo, asimismo, todas las estaciones de monitoreo contaban con suministro eléctrico, sin embargo, al estar instaladas en instituciones públicas como los centros de salud, se requería un cierto nivel de coordinación con los jefes y/o personal de Salud Ambiental para acceder a las instalaciones.

Gráfico N° 15.- Vista externa e interna de la caseta de protección de los equipos

4.1.3. Calibraciones

Un aspecto muy importante para asegurar que la calidad de la información que genera un Sistema de Monitoreo de la Calidad del Aire sea la adecuada, es corroborando que los equipos que lo conforman operan correctamente, que están calibrados y que se ha cumplido con los programas de mantenimiento establecidos (EPA, 1998).

En este sentido, para asegurar la adecuada adquisición de datos, el proyecto de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire de Ilo, tenía implementado un programa de calibración y mantenimiento preventivo así como los procedimientos generales respectivos, los cuales forman parte del presente informe.

Para un adecuado control de calidad se requiere una adecuada calibración del equipo de monitoreo, lo cual permitirá obtener datos de calidad de aire precisos y reproducibles, los métodos primarios comúnmente usados para la preparación y generación de gases de concentración conocida y el control de mezclas de gases estándar para la calibración de analizadores de calidad del aire, fueron los cilindros de gas comprimido y la dilución Dinámica (Martínez Bolívar & Romieu, 1997), los cuales fueron utilizados en el proyecto Monitoreo de Calidad Ambiental del Aire en Ilo.

De acuerdo al programa de calibración, las calibraciones estándar se realizaban con una frecuencia quincenal y las calibraciones dinámicas cada dos (02) meses.

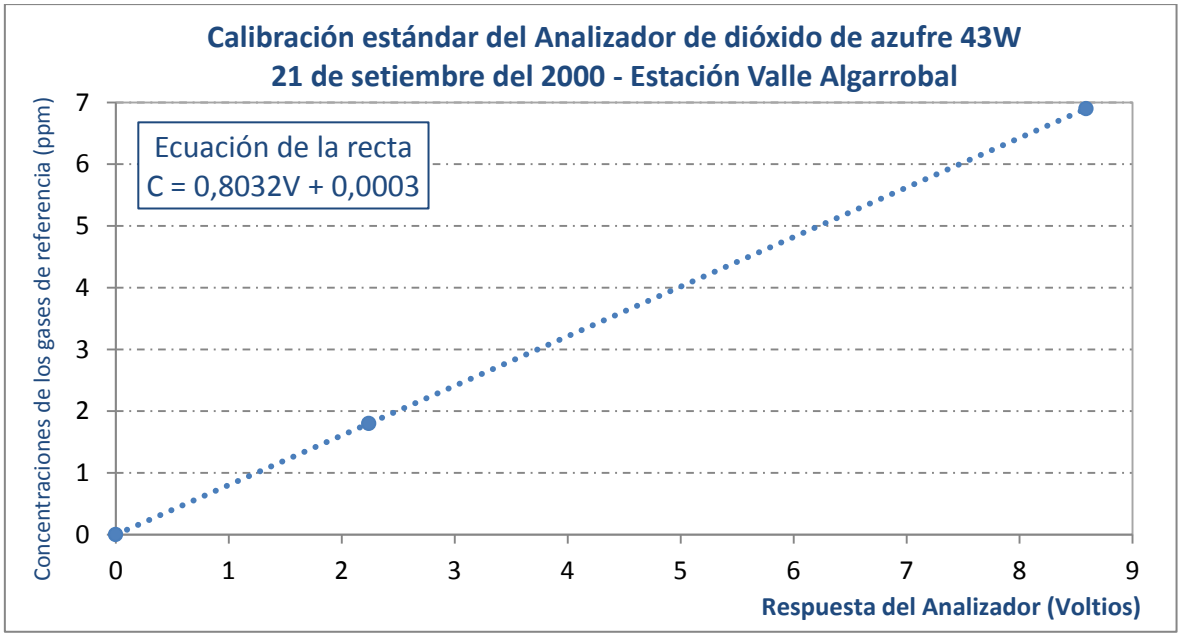
4.1.3.1. Calibración estándar

Este tipo de calibración implica el uso de cilindros con gases de calibración, cuyo método de producción permite establecer la trazabilidad a estándares de referencia certificados (INE, 2010).

La calibración se realiza mediante la verificación del cero y uno o dos niveles de concentración, es una calibración simplificada de dos o tres puntos del analizador que se utiliza cuando no es necesario verificar o verificar la linealidad del analizador. Dado que la mayoría de los analizadores tienen una respuesta de salida confiable y casi lineal con la concentración, pueden calibrarse adecuadamente con solo dos estándares de concentración (calibración de dos puntos). Además, uno de los estándares puede ser la concentración cero, que se obtiene de manera relativamente fácil y no necesita ser certificado (Martínez Bolívar & Romieu, 1997).

Para la realización de las calibraciones en el proyecto Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire en Ilo, se utilizaron generalmente tres niveles de referencia, gases de dióxido de azufre de concentraciones estándares conocidas de 0 ppm 1,8 ppm y 6,9 ppm (partes por millón), estos gases de referencia son ingresados en el analizador automático de dióxido de azufre, obteniéndose señales de voltaje, las cuales son proporcionales a las concentraciones del gas de referencia. La respuesta del analizador es una respuesta lineal, tal como se aprecia en el siguiente gráfico.

Gráfico N° 16.- Curva de calibración estándar del analizador automático



Tal como se aprecia en el gráfico de calibración superior, la curva de calibración permite obtener una ecuación de una recta, con la cual se calculan los niveles de concentración de dióxido de azufre (C) en base a los voltajes (V) registrados por el analizador automático. El procedimiento para realizar las calibraciones estándar, así como la hoja de calibración, se presentan en el anexo del presente informe.

4.1.3.2. Calibración dinámica o calibración multipunto

Las calibraciones dinámicas o de múltiples puntos constan de tres o más concentraciones de prueba, incluida la concentración cero, una concentración entre el 80% y el 90% del rango de escala completo del analizador bajo calibración, y una o más concentraciones intermedias separadas aproximadamente de manera igual en el rango de escala. Las calibraciones multipunto se utilizan para establecer o verificar la linealidad de los analizadores en la instalación inicial, después de reparaciones importantes y en las frecuencias especificadas.

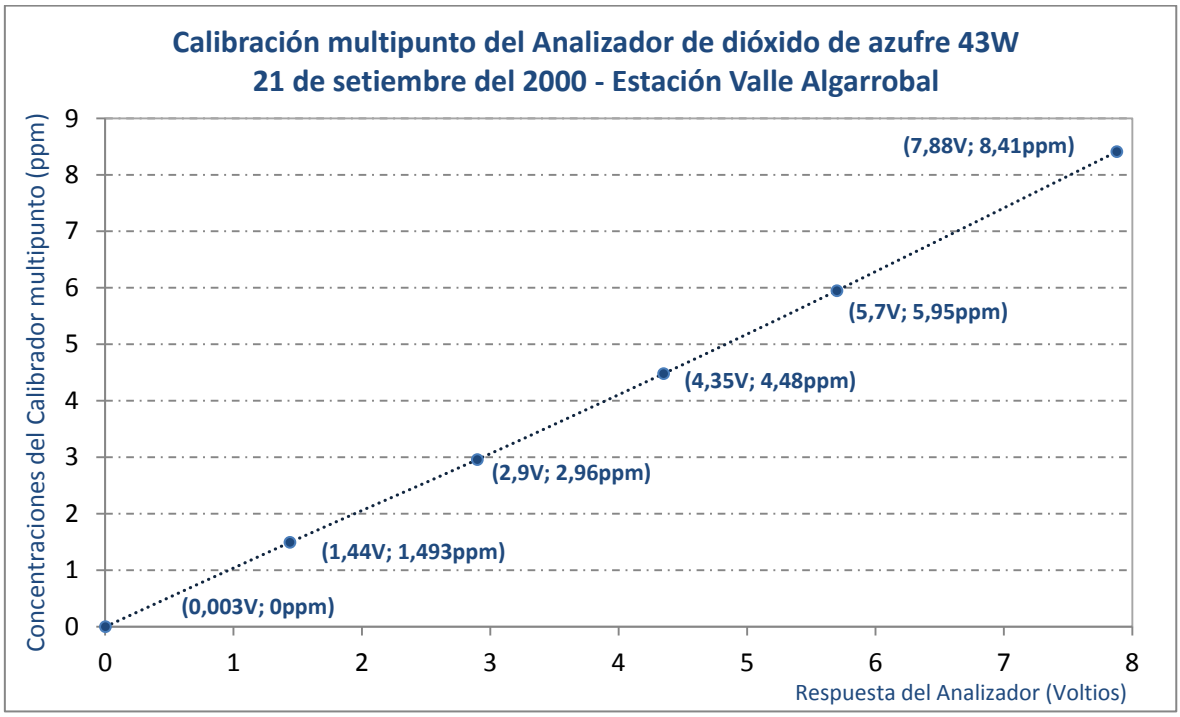
Gráfico N° 17.- Calibrador multipunto de la marca Thermo Environmental Instrument Inc. Modelo 146C

Para realizar la calibración dinámica, el proyecto de Monitoreo de Calidad Ambiental del Aire de Ilo, conto con un calibrador multipunto de la marca Thermo Environmental Instrument Inc. Modelo 146C, este equipo cuenta con dos controladores de flujo, uno para el gas y otro para el aire cero, con los cuales se controla el flujo de cada uno para introducirlos en una cámara de mezclado, en donde el aire cero diluye la concentración del gas, este control de flujos permite al calibrador multipunto obtener diferentes concentraciones.

Para el funcionamiento del calibrador multipunto, se requiere contar con cilindros con gases estándar de calibración, uno de aire cero (0 ppm) y uno de alta concentración del gas dióxido de azufre (100 ppm). Las especificaciones de estos gases estándar de calibración, así como el procedimiento y la hoja de calibración, se presentan en el anexo del presente informe.

El calibrador multipunto, fue programado para obtener mezclas de gases de dióxido de azufre con concentraciones de 0 ppm; 1,44 ppm; 2,90 ppm; 4,35 ppm, 5,70 ppm y 8,41 ppm, los cuales son ingresados en los analizadores automáticos de dióxido de azufre, con la finalidad de certificar la respuesta lineal del analizador.

Gráfico N° 18.- Curva de calibración multipunto del analizador automático



4.1.4. Mantenimiento preventivo de los equipos

El mantenimiento preventivo se realiza cada dos meses, se aprovecha el traslado de los analizadores automáticos a la estación central para realizar la calibración multipunto, el trabajo de mantenimiento preventivo consiste en la inspección general del analizador automático, se verificando todas las conexiones eléctricas, se realiza la limpieza de los capilares y la revisión del estado de los anillos (O´ring), limpieza y revisión de la bomba neumática, verificación de posibles fugas de las línea de muestreo, y se realiza el cambio de los filtros.

El proyecto de monitoreo de calidad de aire, tenía implementado un programa de mantenimiento preventivo, asimismo, un procedimiento para realizar el mantenimiento.

Cuadro N° 5.- Programa de mantenimiento preventivo del proyecto

Detalle de la actividad	Quincenal	Mensual	Dos meses	semestral	Dos años
Verificación de las conexiones eléctricas externas	X				
Verificación de la operatividad del sistema de ventilación	X				
Verificación del fusible			X		
Verificación de fugas en el sistema de la línea de muestra, flujo, presión, uniones de las líneas de muestra.			X		
Verificación de la bomba de succión de aire, sistemas de rodamiento, empaquetaduras, diafragma, entre otros.			X		
Verificación del anillo de ajuste del capilar (empaque)			X		
Verificación de la lámpara UV				X	
Verificación del sistema de alimentación de la lámpara UV				X	
Verificación del sistema de alimentación principal de energía				X	
Verificación del tubo fotomultiplicador				X	
Verificación del sistema eléctrico, tarjetas de entrada y de tiempo				X	
Verificación de la corriente de salida				X	
Verificación del filtro de partículas externo		X			
Cambio del filtro de partículas interno			X		
Cambio del filtro de partículas externo			X		
Cambio del diafragma de la bomba de succión de aire					X
Cambio de la lámpara UV					X
Limpieza de los capilares obstruidos por partículas finas			X		
Limpieza general de la parte interna del analizador			X		

Como parte del mantenimiento, cada semana se realiza una limpieza general del polvo de los equipos y de forma muy especial, cada mes se realiza la limpieza interna de las líneas de muestra externa (mangueras de teflón), las cuales son los conductos por donde se traslada la muestra de aire contaminada al analizador, para ello se utiliza etanol con la finalidad de que no queden partículas en el interior de la manguera, lo que tal vez pueda ingresar al interior del analizador y dañarlo, el etanol es muy volátil y desaparecerá rápidamente en el ambiente.

4.2. Procesamiento de la información

El éxito de los objetivos de un programa de monitoreo de calidad ambiental del aire se basa en los datos y su interpretación. Es crítico que los datos estén disponibles para los usuarios y que estos datos sean de confianza, de calidad y fácilmente accesibles (EPA E. , 1998).

4.2.1. Análisis de la información

El manejo de la información involucró el procesamiento y manipulación de los datos de dióxido de azufre, recolectados de los analizadores automáticos, instalados en cada una de las estaciones de monitoreo de calidad ambiental del aire de Ilo. Esto incluye técnicas como la corrección de los datos luego de las recalibraciones, cálculo de los datos promediados y acciones a tomar cuando se pierden datos por falla o inactividad. (DIGESA, 2005)

4.2.2. Suficiencia de información

Deben tomarse las cantidades mínimas de muestras requeridas para las estadísticas de resumen apropiadas. Al menos el 75% del total de observaciones posibles debe estar presente antes de realizar los cálculos estadísticos de resumen (EPA E. , 1998).

En este sentido, uno de los principales objetivos del proyecto de monitoreo de calidad ambiental del aire en Ilo, ha sido la suficiencia de información, por lo que según Reporte de Monitoreo 1999 - 2000, del Proyecto Ilo Aire Limpio implementado por la Municipalidad Provincial de Ilo, los analizadores automáticos de dióxido de azufre presentaron un rendimiento operativo aceptable del 90% en cuanto al registro de datos, siendo la dificultad más álgida los daños ocasionados por los constantes cortes de energía eléctrica. (Aragón Cuadros, 2001).

Tal como se observa en el siguiente cuadro, todos los registros de información se encuentran sobre el 80% de información registrada.

Cuadro N° 6.- Registro de información de SO_2 del periodo 1999

Estación de monitoreo	Periodos de muestreo			
	Fecha	**Horas**	**Días**	**%**
Ciudad Jardín	Del 01/01/1999 al 31/12/1999	8505	350	96
Valle Algarrobal	Del 01/01/1999 al 31/12/1999	7125	293	80
Miramar	Del 01/01/1999 al 31/12/1999	7930	327	90
Alto Ilo	Del 01/01/1999 al 31/12/1999	7429	295	81
Pampa Inalámbrica	Del 01/01/1999 al 31/12/1999	8364	346	96
Pampa del Palo	Del 07/09/1999 al 31/12/1999	2141	88	-

Cuadro N° 7.- Registro de información de SO_2 del periodo 2000

Estación de monitoreo	Periodos de muestreo			
	Fecha	**Horas**	**Días**	**%**
Ciudad Jardín	Del 01/01/2000 al 31/12/2000	7785	320	88
Valle Algarrobal	Del 01/01/2000 al 31/12/2000	7179	286	78
Miramar	Del 01/01/2000 al 31/12/2000	8260	344	94
Alto Ilo	Del 01/01/2000 al 31/12/2000	6945	275	75
Pampa Inalámbrica	Del 01/01/2000 al 31/12/2000	8300	343	94
Punta de Bombón	Del 01/01/2000 al 31/12/2000	5289	220	60

4.2.3. Validación de la información

Antes que los datos sean aceptados en la base de datos final, los datos erróneos deben ser filtrados o extraídos. Este proceso de validación es vital para maximizar la integridad de los datos. Depende del método de monitoreo o del equipo de medición utilizado, la validación puede ser hecha manualmente o por sistemas de análisis de datos preprogramados. Cual sea el proceso usado se requiere un alto grado de juicio para aceptar o rechazar los datos sospechosos. (DIGESA, 2005)

En este sentido, el análisis y validación de datos se realizó, verificando y eliminando los datos anómalos presentes en la base de datos, antes de elaborar los reportes de monitoreos, asimismo, se realizaba una verificación de los resultados de la siguiente calibración, con la finalidad de verificar algún desfase entre una y otra calibración, con la finalidad de validar los datos.

4.3. Resultados del monitoreo de calidad del aire

Gráfico N° 19.- Concentraciones de SO_2 ($\mu g/m^3$) - Promedios 24 horas, Estación **CIUDAD JARDÍN**, periodo de **1998**

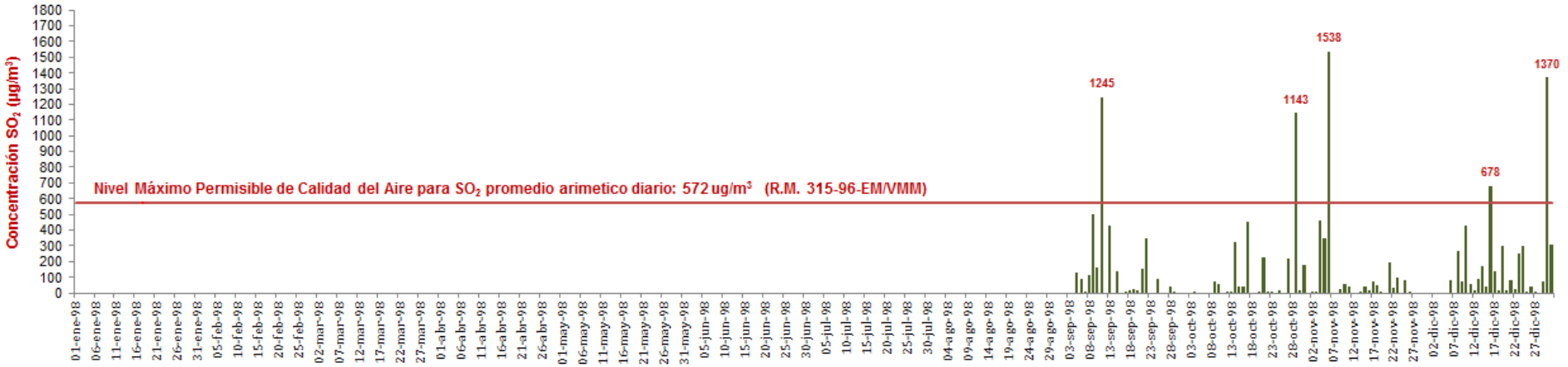


Gráfico N° 20.- Concentraciones de SO_2 ($\mu g/m^3$) - Promedios 24 horas, Estación **ALGARROBAL**, periodo de **1998**

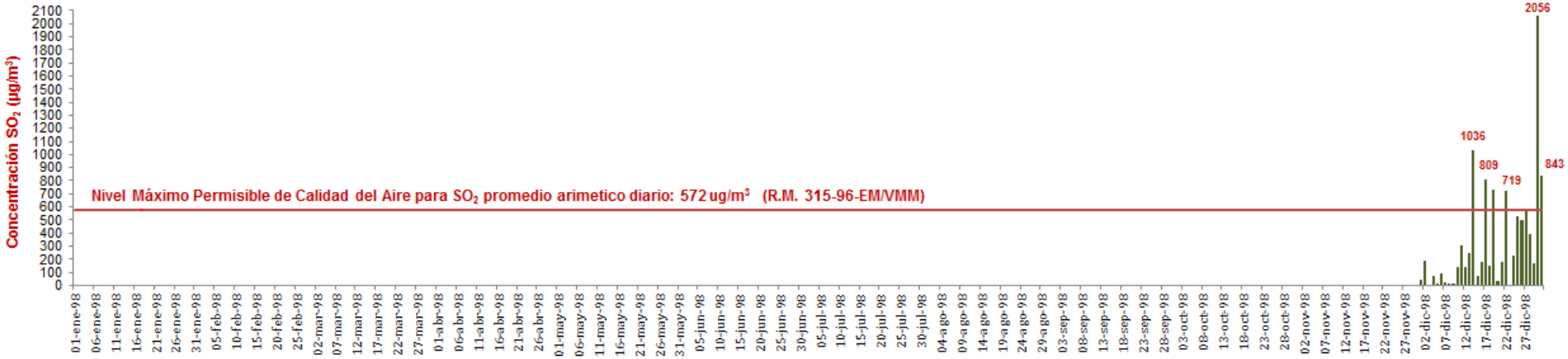


Gráfico N° 21.- Concentraciones de SO_2 ($\mu g/m^3$) - Promedios 24 horas, Estación **MIRAMAR**, periodo de **1998**

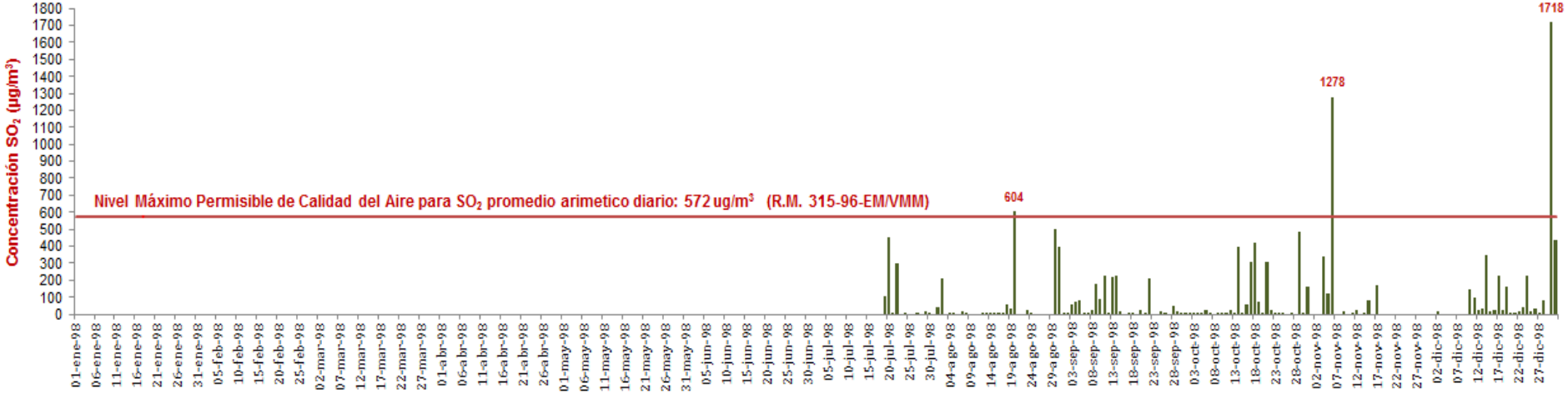


Gráfico N° 22.- Concentraciones de SO_2 ($\mu g/m^3$) - Promedios 24 horas, Estación **ALTO ILO**, periodo de **1998**

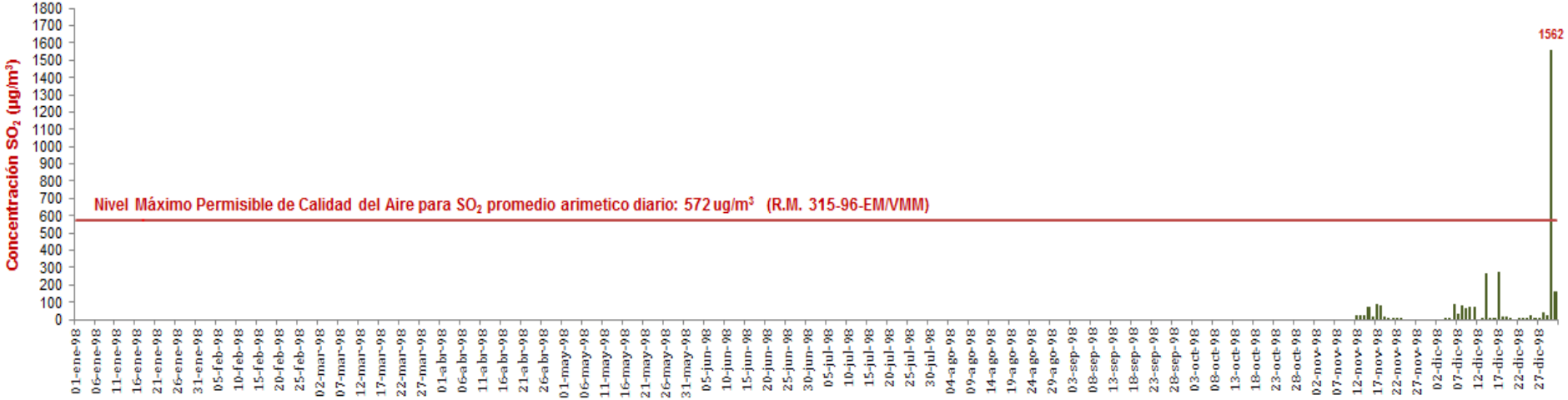


Gráfico N° 23.- Concentraciones de SO_2 (µg/m^3) - Promedios 24 horas, Estación **CIUDAD JARDÍN**, periodo de **1999**

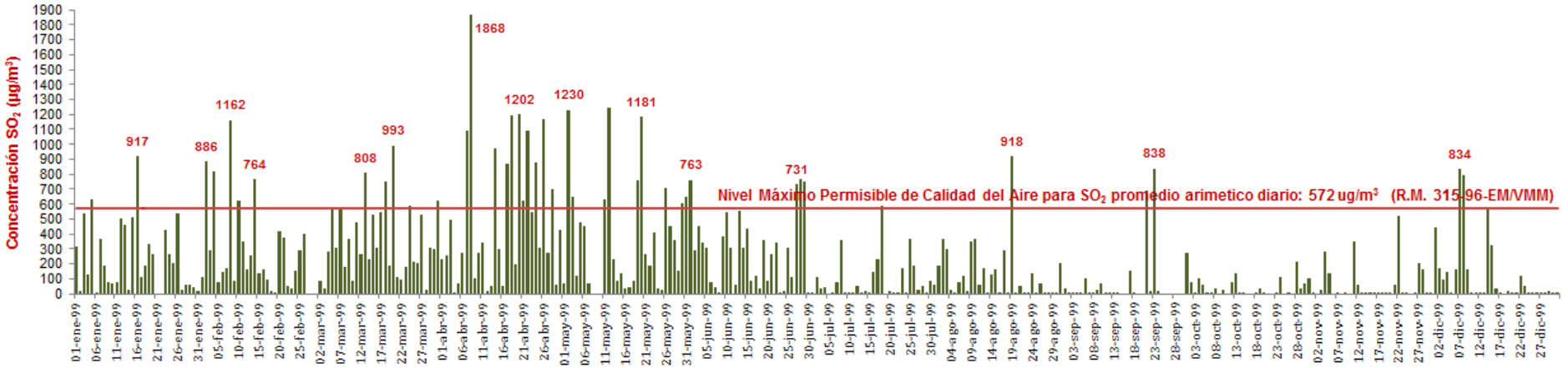


Gráfico N° 24.- Concentraciones de SO_2 (µg/m^3) - Promedios 24 horas, Estación **ALGARROBAL**, periodo de **1999**

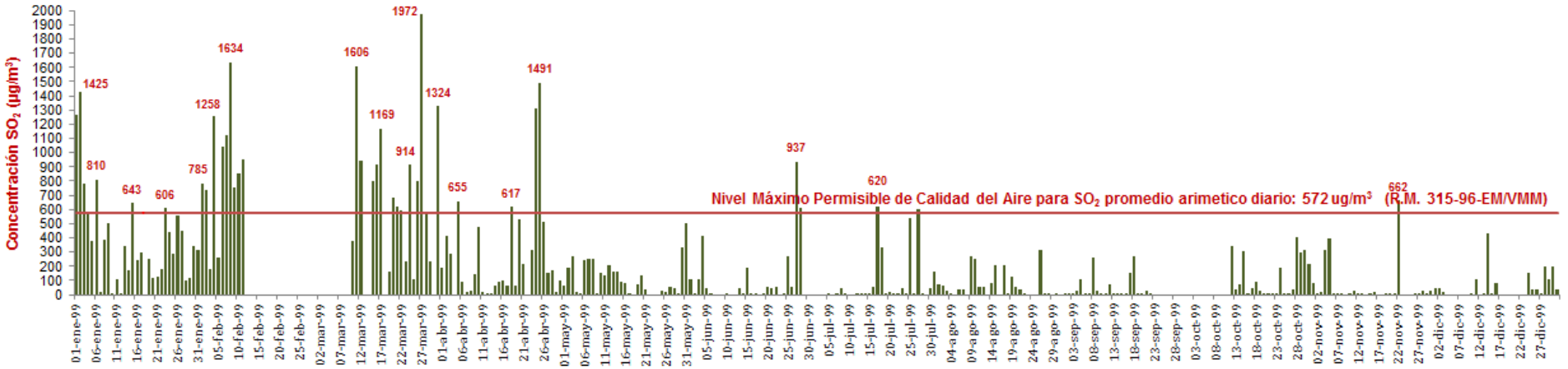


Gráfico N° 25.- Concentraciones de SO_2 (µg/m^3) - Promedios 24 horas, Estación **MIRAMAR**, periodo de **1999**

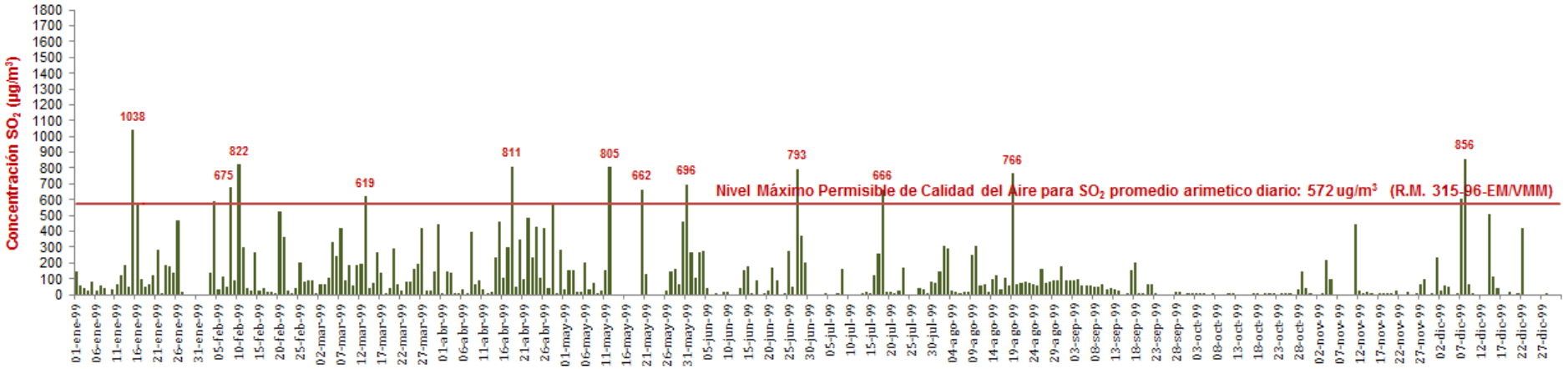


Gráfico N° 26.- Concentraciones de SO_2 (µg/m^3) - Promedios 24 horas, Estación **ALTO ILO**, periodo de **1999**

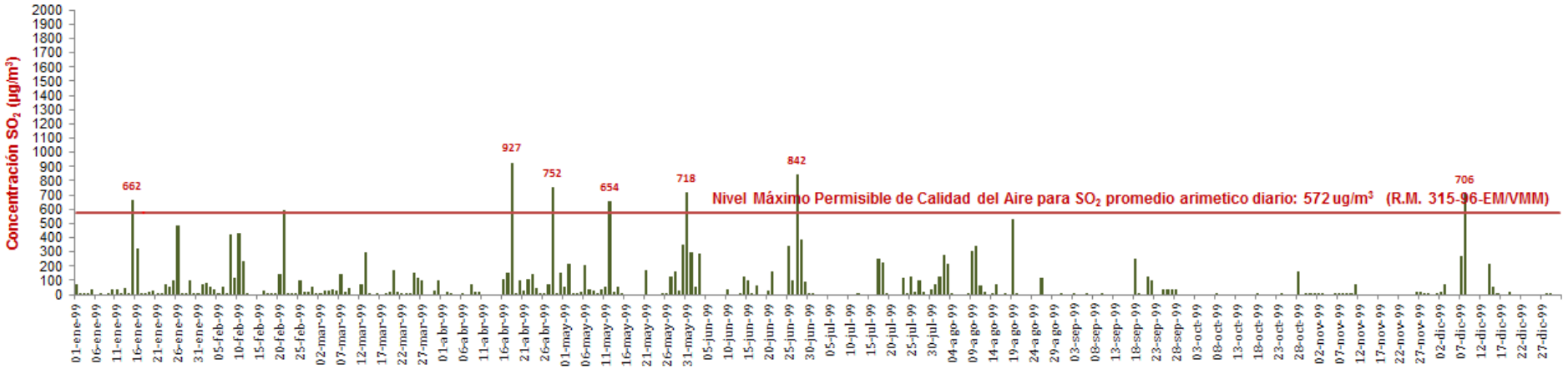


Gráfico N° 27.- Concentraciones de SO_2 (µg/m^3) - Promedios 24 horas, Estación **PAMPA INALAMBRICA**, periodo de **1999**

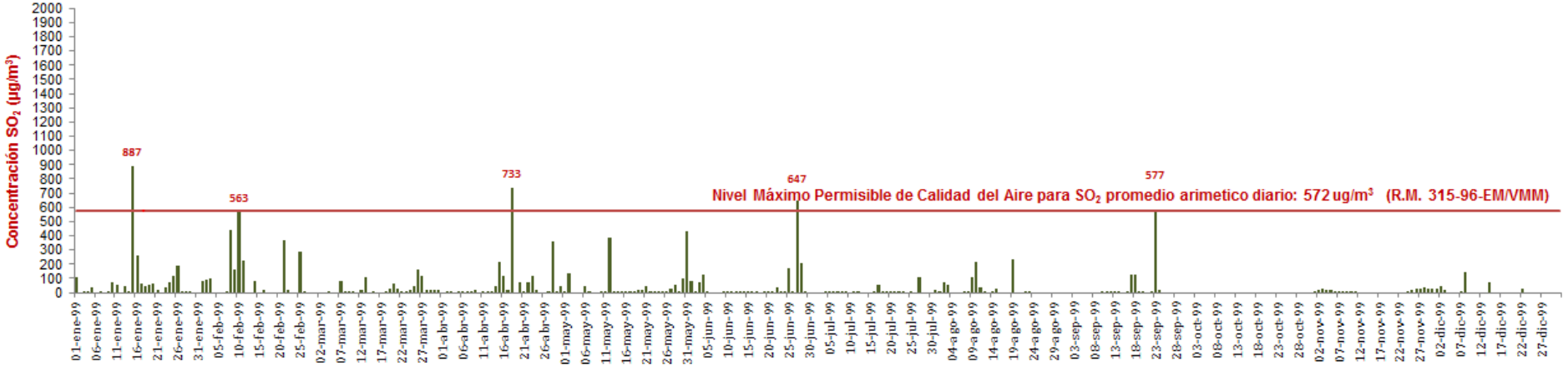


Gráfico N° 28.- Concentraciones de SO_2 (µg/m^3) - Promedios 24 horas, Estación **CETICOS ILO**, periodo de **1999**

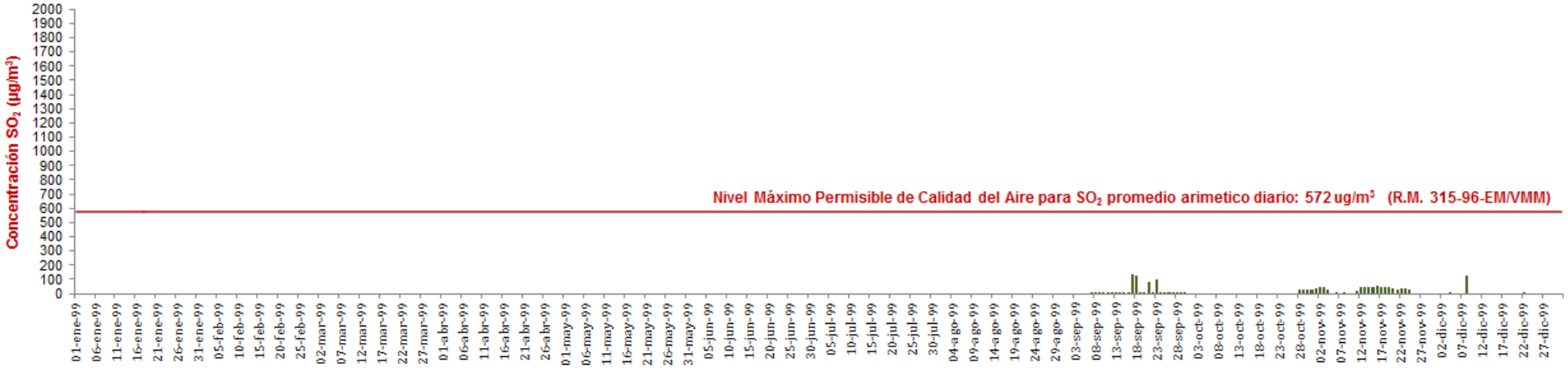


Gráfico N° 29.- Concentraciones de SO_2 ($\mu g/m^3$) - Promedios 24 horas, Estación **CIUDAD JARDÍN**, periodo de **2000**

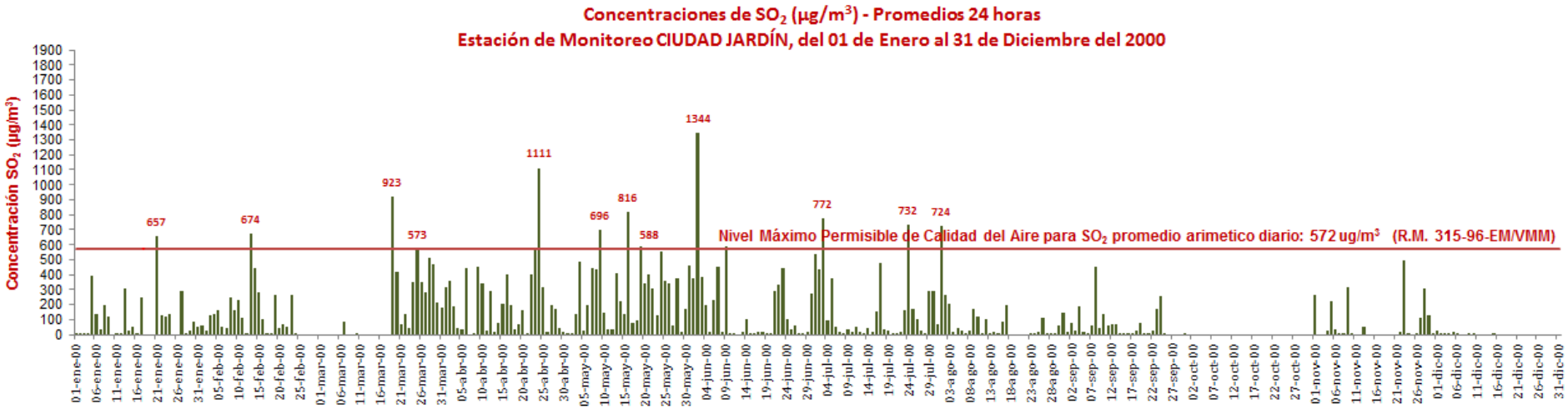


Gráfico N° 30.- Concentraciones de SO_2 ($\mu g/m^3$) - Promedios 24 horas, Estación **EL ALGARROBAL**, periodo de **2000**

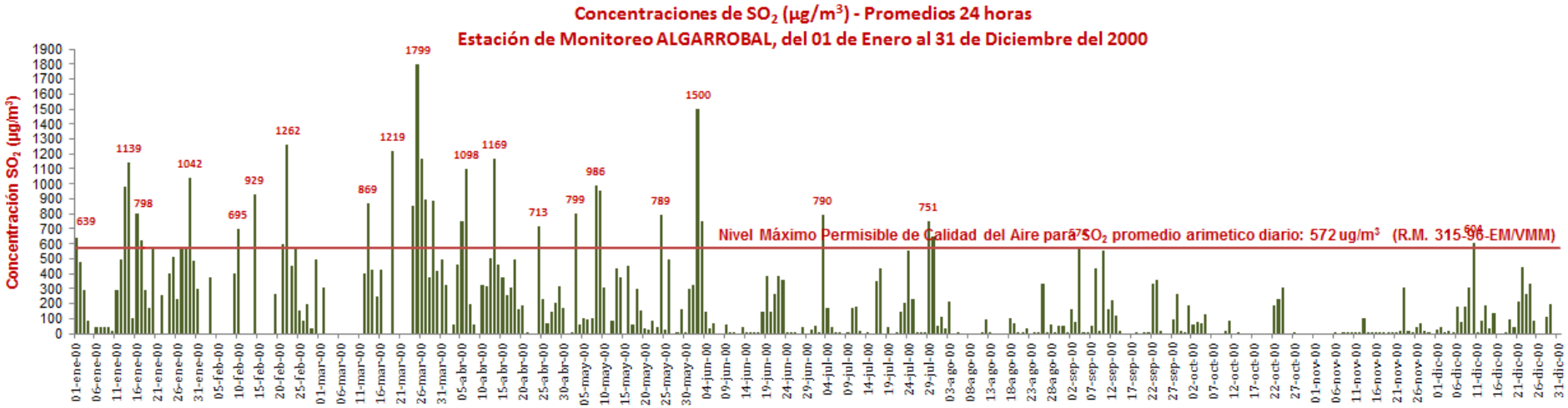


Gráfico N° 31.- Concentraciones de SO_2 ($\mu g/m^3$) - Promedios 24 horas, Estación **MIRAMAR**, periodo de **2000**

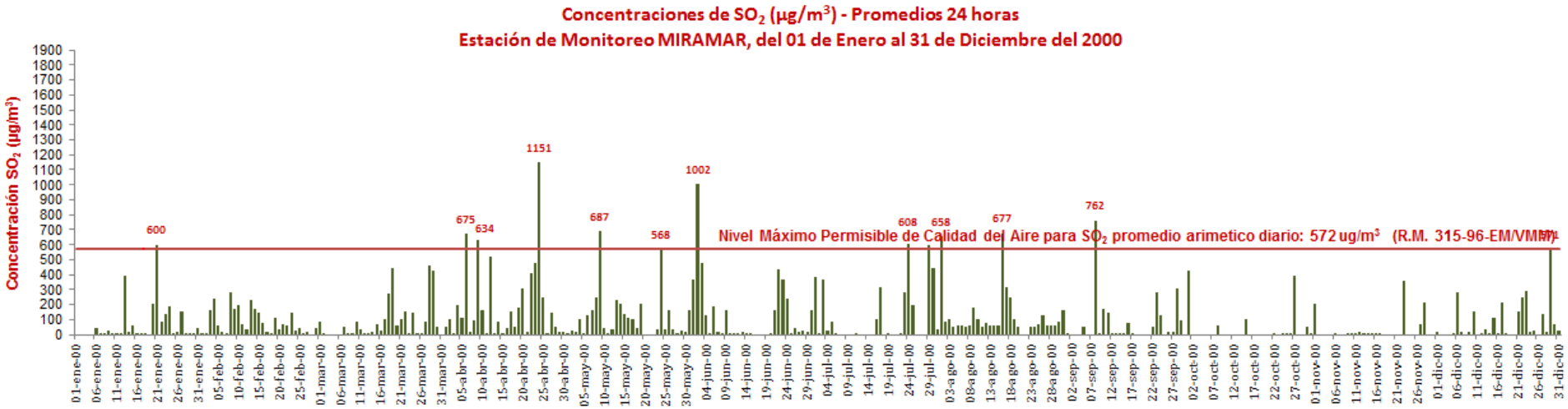


Gráfico N° 32.- Concentraciones de SO_2 ($\mu g/m^3$) - Promedios 24 horas, Estación **ALTO ILO**, periodo de **2000**

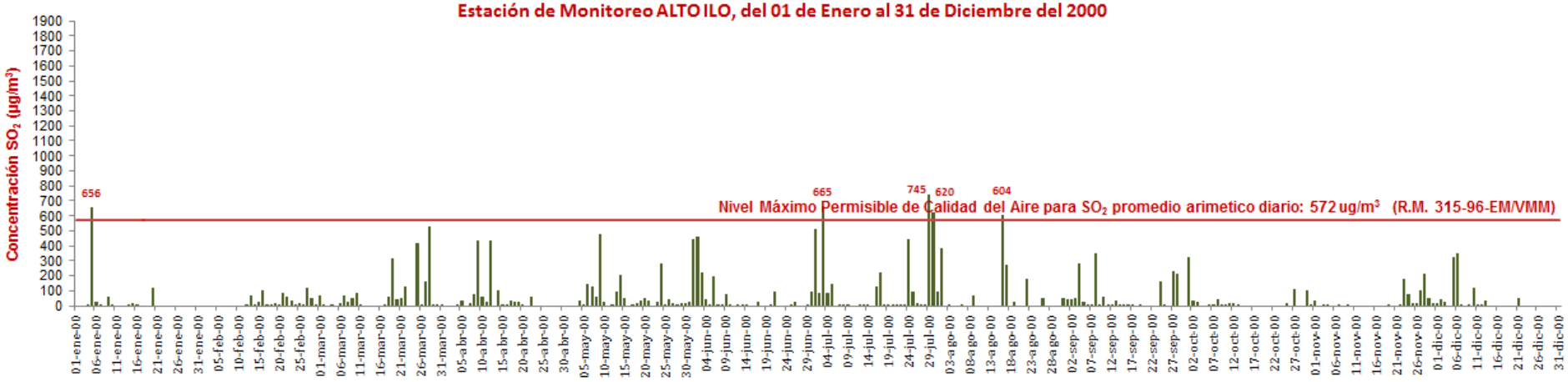


Gráfico N° 33.- Concentraciones de SO_2 (µg/m^3) - Promedios 24 horas, Estación **PAMPA INALÁMBRICA**, periodo de **2000**

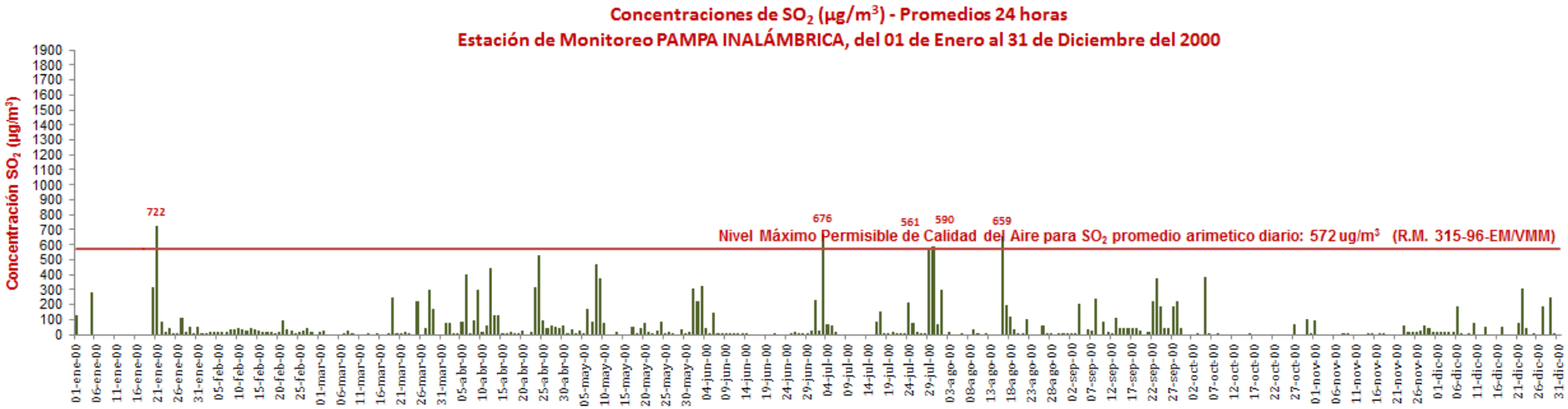


Gráfico N° 34.- Concentraciones de SO_2 (µg/m^3) - Promedios 24 horas, Estación **CETICOS ILO**, periodo de **2000**

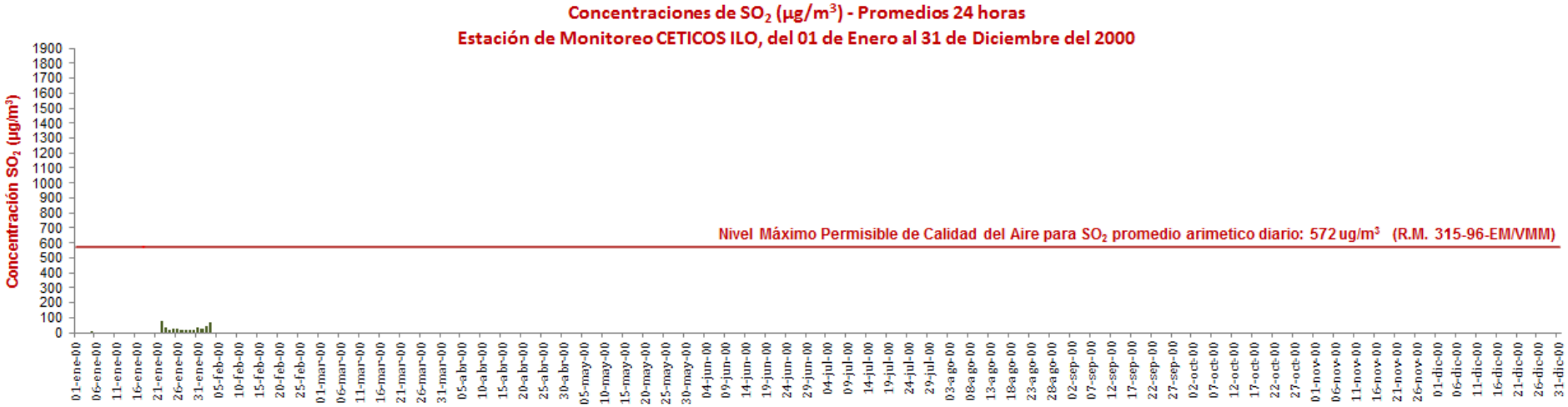


Gráfico N° 35.- Concentraciones de SO_2 ($\mu g/m^3$) - Promedios 24 horas, Estación **PUNTA DE BOMBÓN**, periodo de **2000**

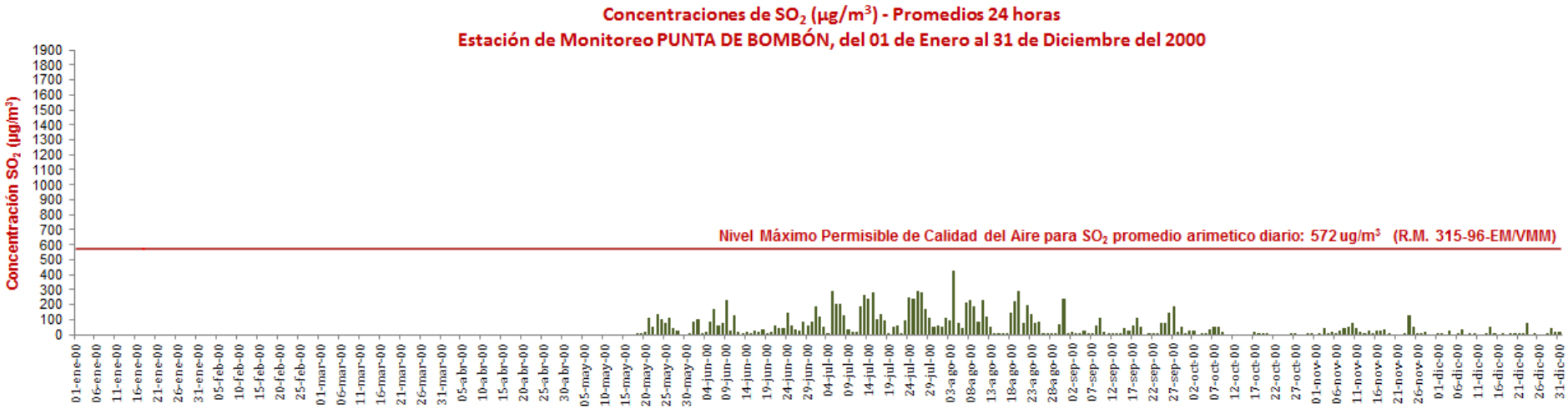


Gráfico N° 36.- Concentraciones de SO_2 ($\mu g/m^3$) - Promedios 24 horas, Estación **CIUDAD NUEVA**, periodo de **2001**

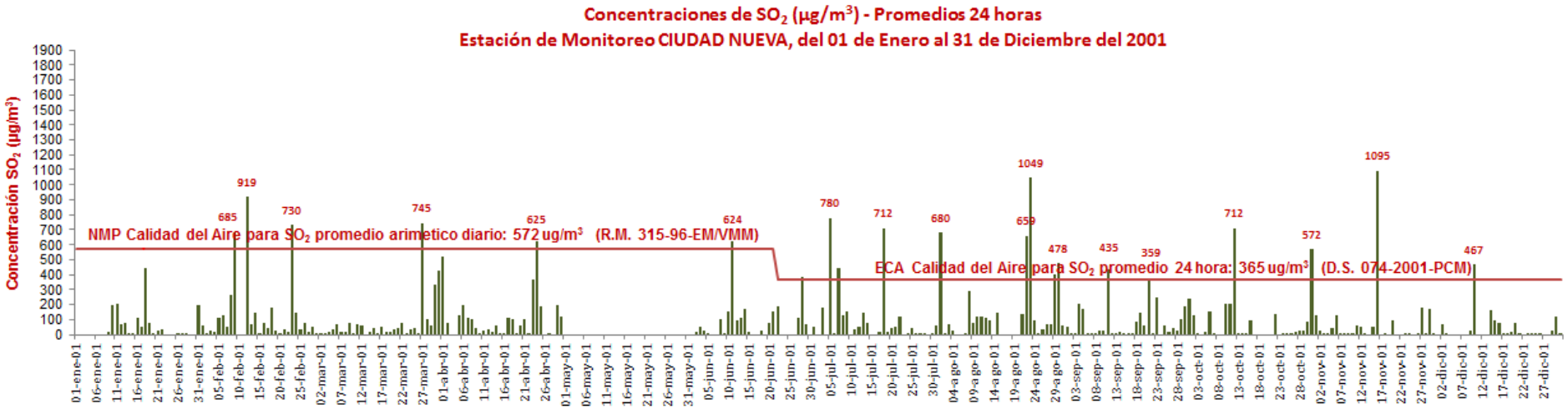


Gráfico N° 37.- Concentraciones de SO_2 ($\mu g/m^3$) - Promedios 24 horas, Estación **EL ALGARROBAL**, periodo de **2001**

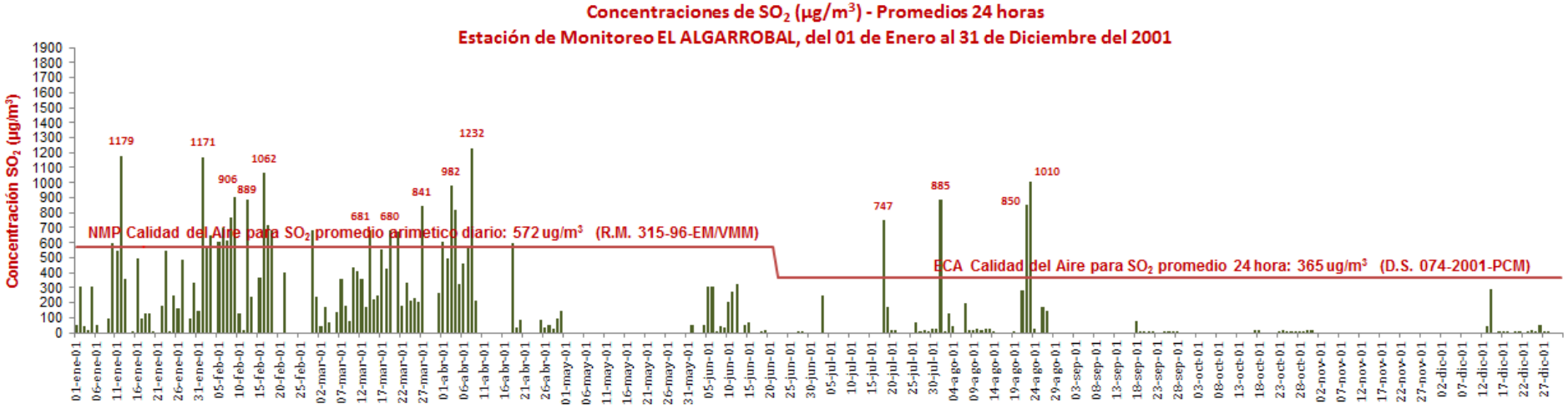


Gráfico N° 38.- Concentraciones de SO_2 ($\mu g/m^3$) - Promedios 24 horas, Estación **MIRAMAR**, periodo de **2001**

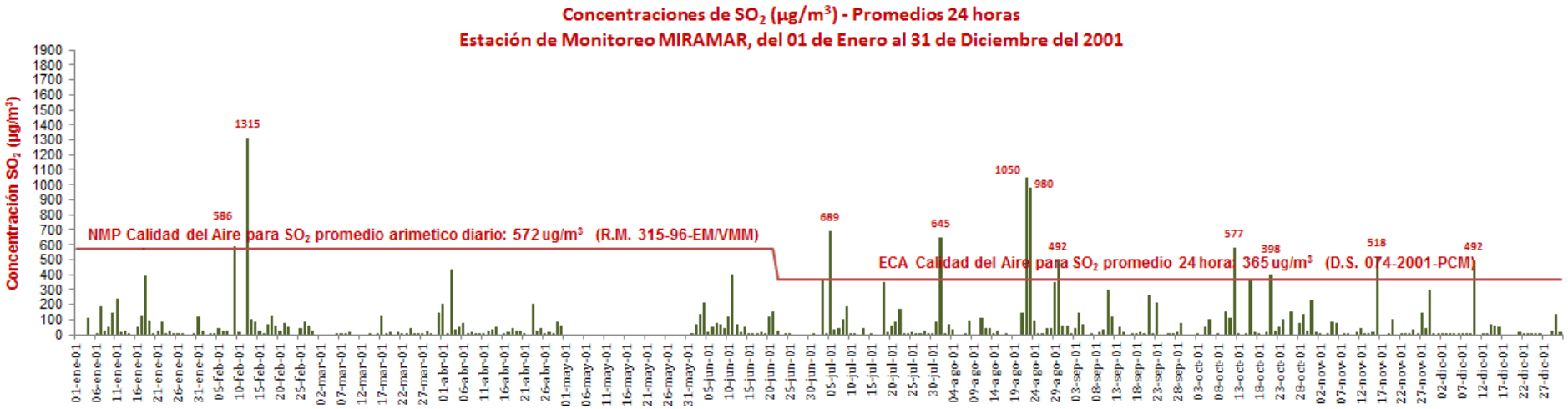


Gráfico N° 39.- Concentraciones de SO_2 ($\mu g/m^3$) - Promedios 24 horas, Estación **ALTO ILO**, periodo de **2001**

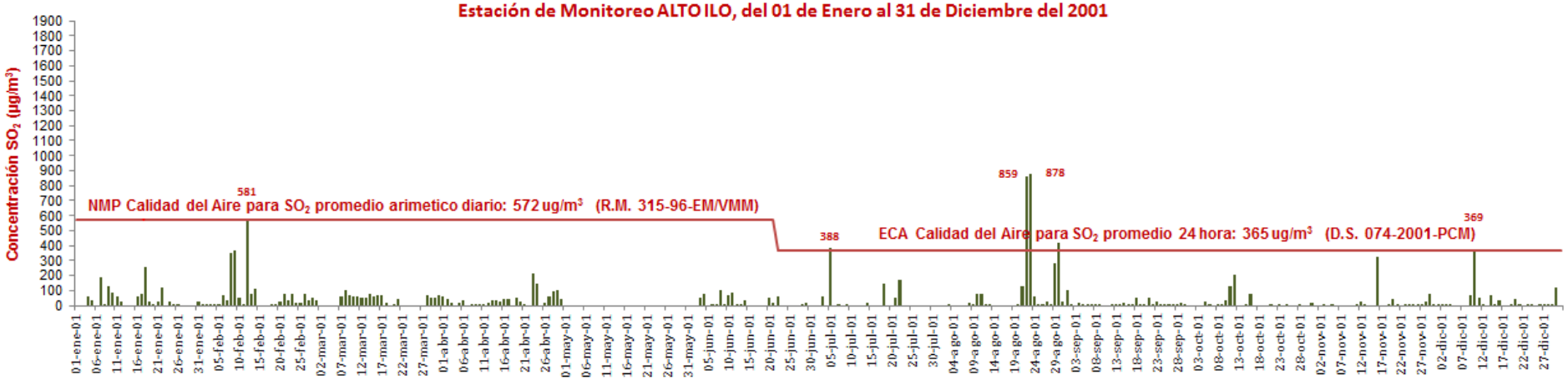


Gráfico N° 40.- Concentraciones de SO_2 (µg/m^3) - Promedios 24 horas, Estación **PAMPA INALAMBRICA**, periodo de **2001**

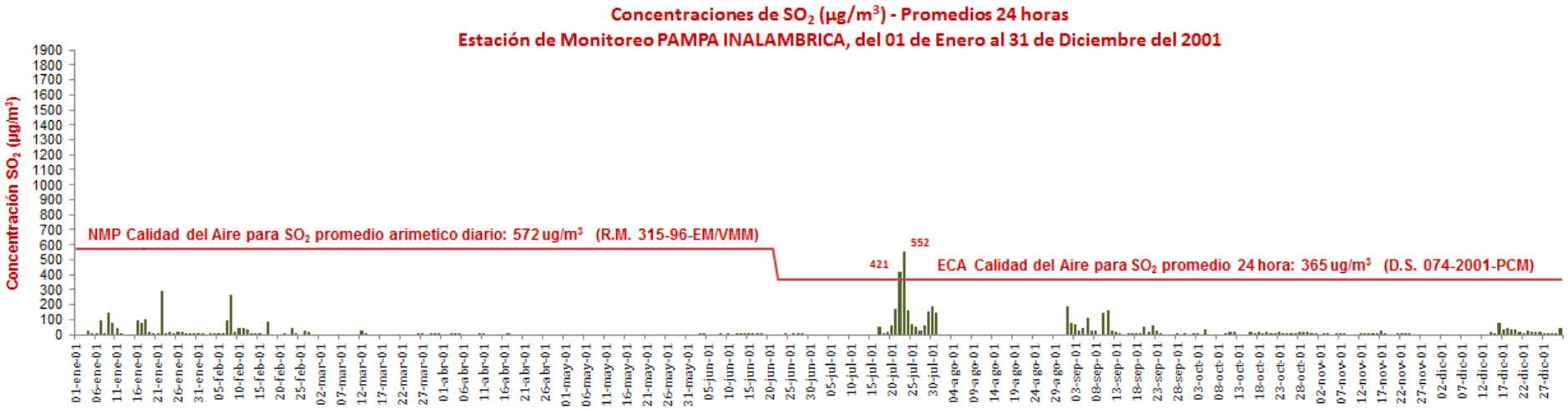


Gráfico N° 41.- Concentraciones de SO_2 (µg/m^3) - Promedios 24 horas, Estación **PUNTA DE BOMBÓN**, periodo de **2001**

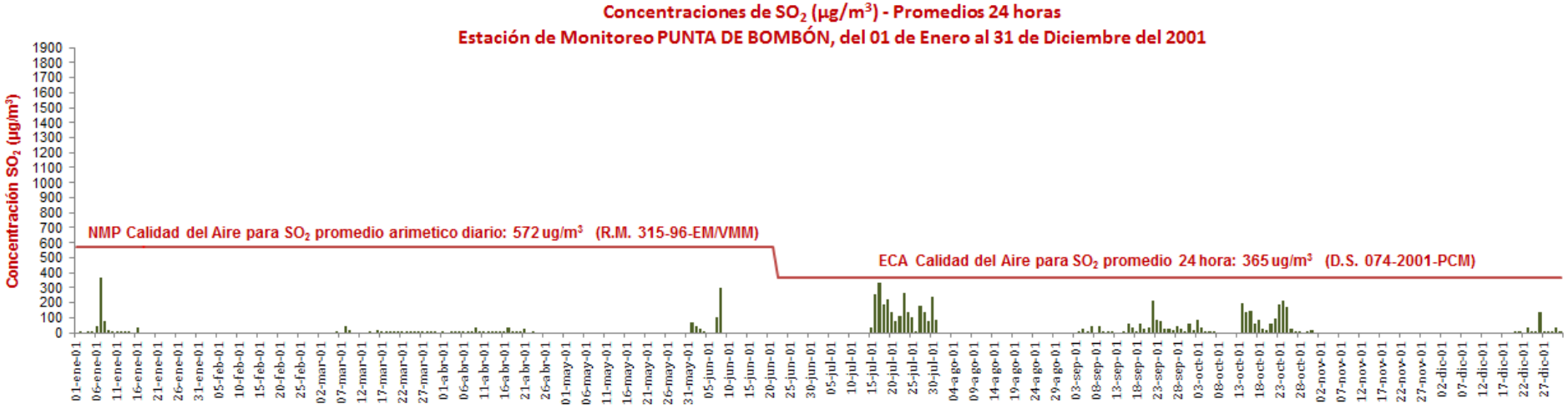


Gráfico N° 42.- Concentraciones de SO_2 (µg/m^3) - Promedios 24 horas, Estación **EL ALGARROBAL**, periodo de **2002**

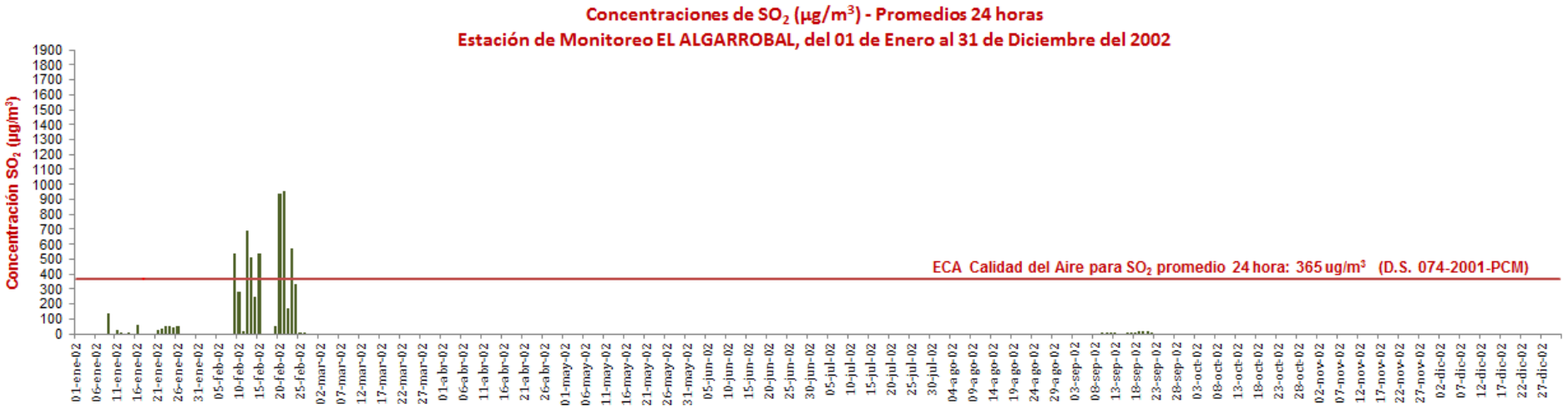


Gráfico N° 43.- Concentraciones de SO_2 (µg/m^3) - Promedios 24 horas, Estación **CIUDAD NUEVA**, periodo de **2002**

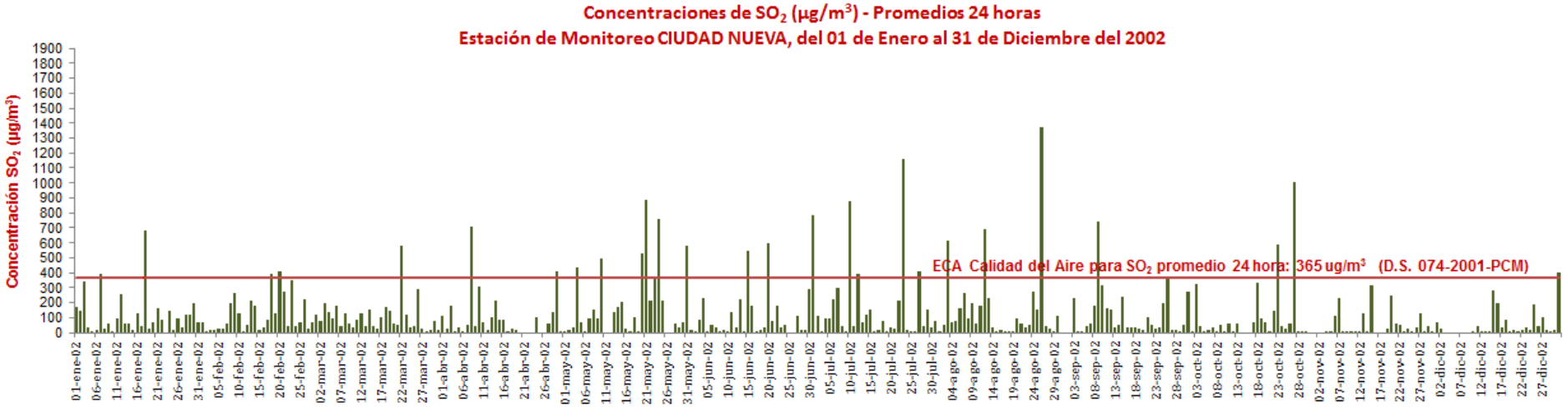


Gráfico N° 44.- Concentraciones de SO_2 (µg/m^3) - Promedios 24 horas, Estación **MIRAMAR**, periodo de **2002**

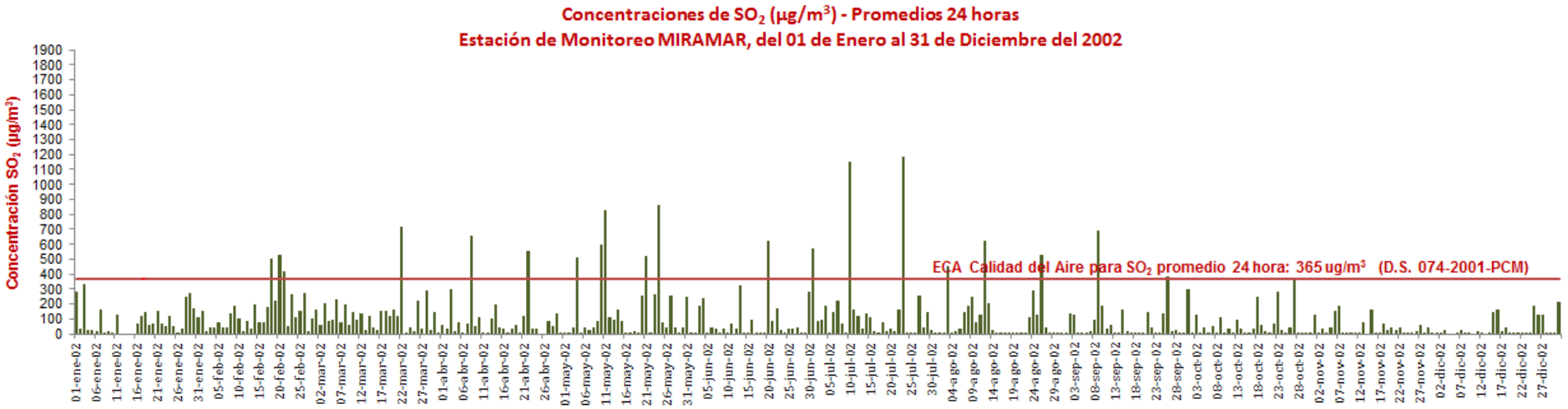


Gráfico N° 45.- Concentraciones de SO_2 (µg/m^3) - Promedios 24 horas, Estación **ALTO ILO**, periodo de **2002**

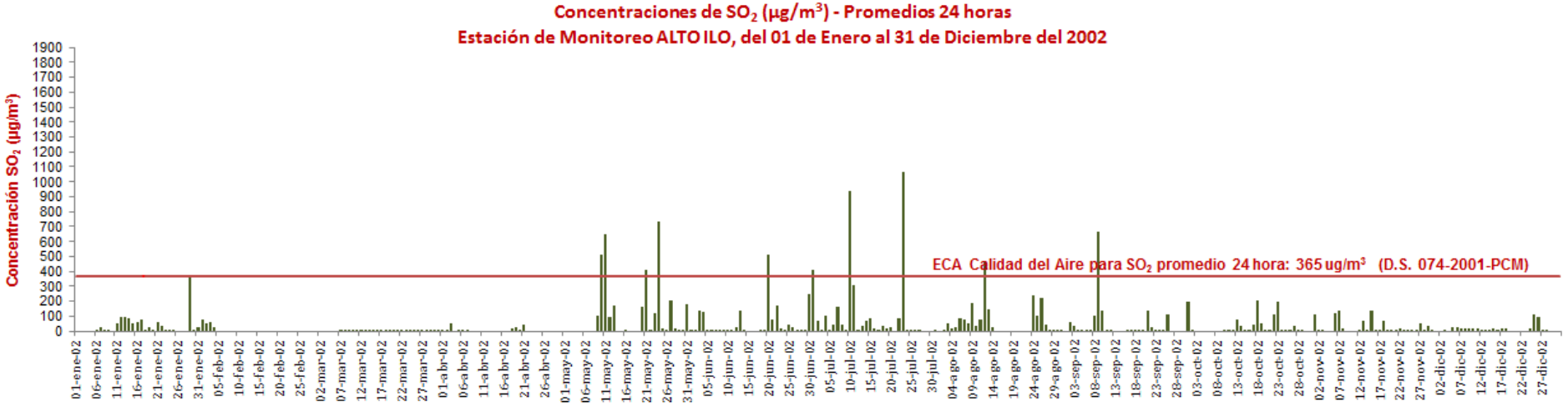


Gráfico N° 46.- Concentraciones de SO_2 (µg/m^3) - Promedios 24 horas, Estación **PAMPA INALÁMBRICA**, periodo de **2002**

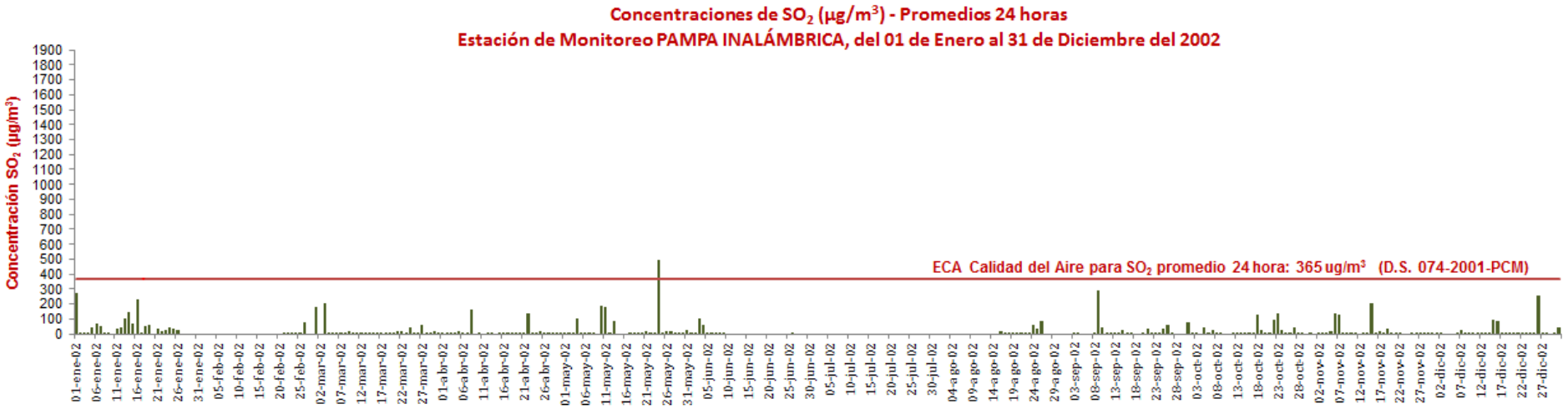


Gráfico N° 47.- Concentraciones de SO_2 (µg/m^3) - Promedios 24 horas, Estación **CETICOS ILO**, periodo de **2002**

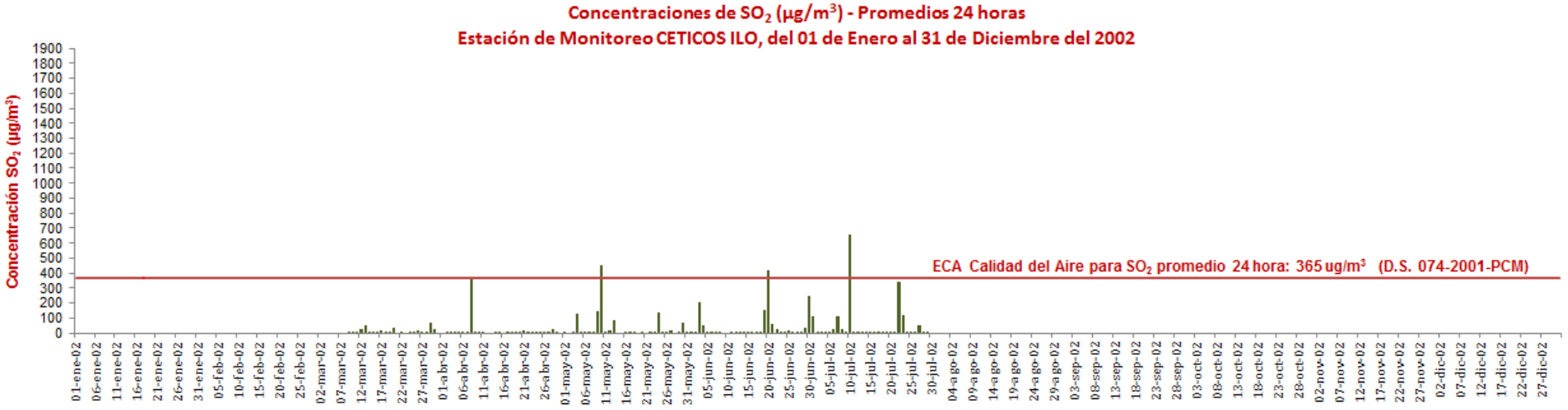


Gráfico N° 48.- Concentraciones de SO_2 ($\mu g/m^3$) - Promedios 24 horas, Estación **PUNTA DE BOMBÓN**, periodo de **2002**

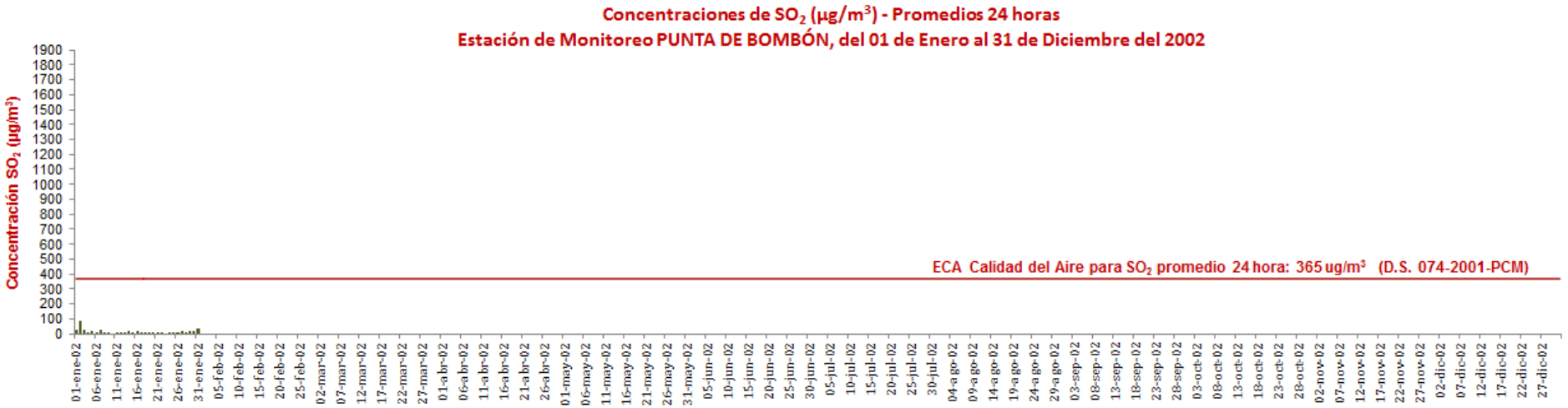
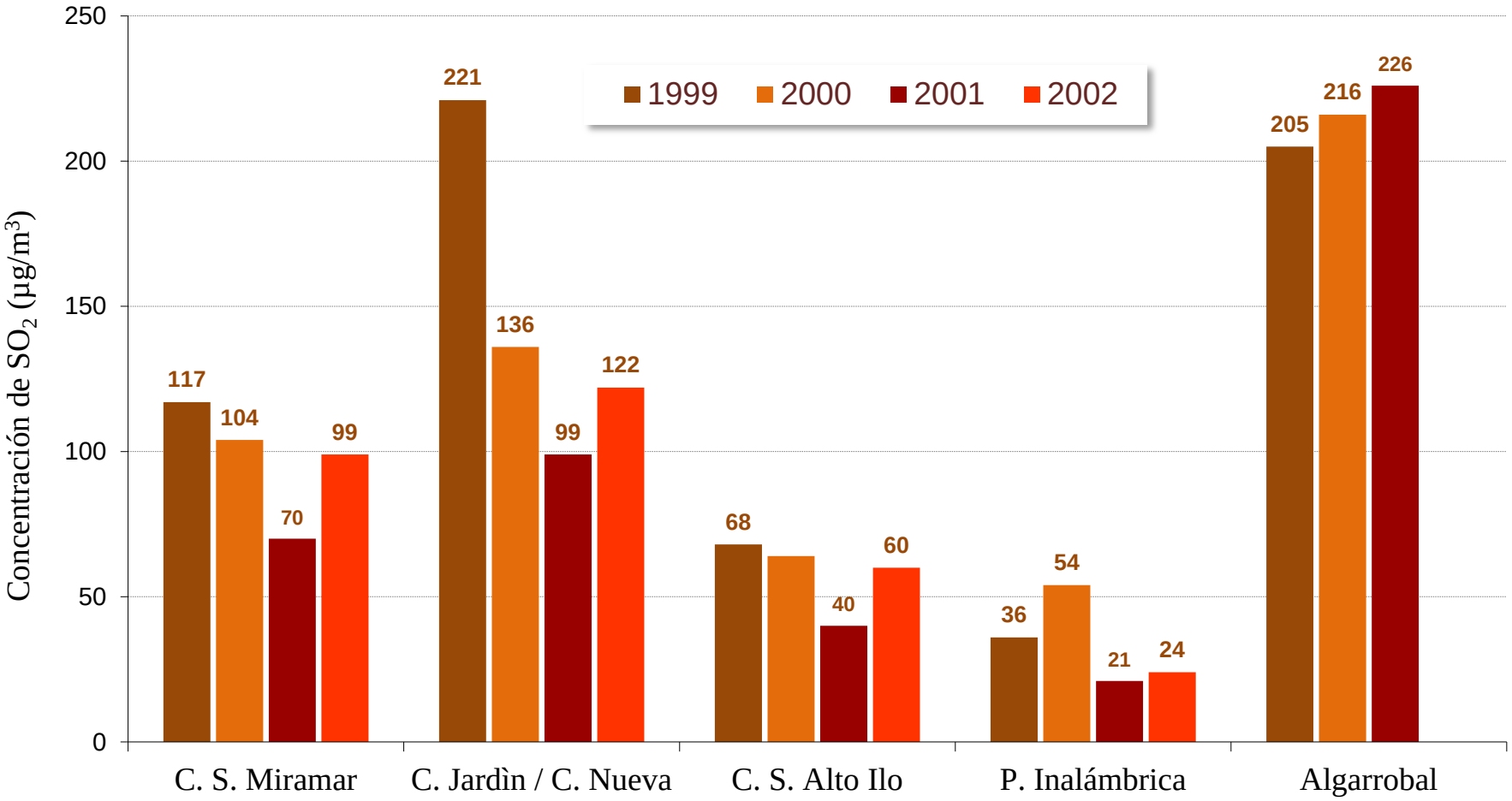


Gráfico N° 49.- Promedios anuales de niveles de concentración de SO_2 ($\mu g/m^3$), provincia de Ilo - periodos de 1999 a 2002



4.4. Comparación de estándares nacionales e internacionales

Cuadro N° 08.- Comparación de los niveles de contaminación en Ilo, con normas Nacionales e Internacionales, periodo 1998

Institución que determina la Norma				**OMS**				**Perú MEM**	
Límite máximo permisible				350 µg/m3		125 µg/m3		572 µg/m3	
Tiempo				1 hora		1 día		1 día	
Lugar	Periodo de Muestreo			Cantidad de horas sobrepasadas		Cantidad de días sobrepasados		Cantidad de días sobrepasados	
	Fecha	Horas	Días	Horas	Porcentaje	Días	Porcentaje	Días	Porcentaje
Ciudad Jardín	04/09/98 al 31/12/1998	2707	112	214	8%	28	25%	5	4%
Valle Algarrobal	01/12/98 al 31/12/1998	714	30	122	17%	20	67%	6	20%
Miramar	18/07/98 al 31/12/1998	3220	133	189	6%	27	20%	3	2%
Alto Ilo	11/11/98 al 31/12/1998	1207	50	44	4%	4	8%	1	2%

Cuadro N° 09.- Comparación de los niveles de contaminación en Ilo, con normas Nacionales e Internacionales, periodo 1999

Institución que determina la Norma				OMS				Perú MEM	
Límite máximo permisible				350 µg/m3		125 µg/m3		572 µg/m3	
Tiempo				1 hora		1 día		1 día	
Lugar	Periodo de Muestreo			Cantidad de horas sobrepasadas		Cantidad de días sobrepasados		Cantidad de días sobrepasados	
	Fecha	Horas	Días	Horas	Porcentaje	Días	Porcentaje	Días	Porcentaje
Ciudad Jardín	01/01/99 al 31/12/1999	8505	350	1267	15%	154	44%	41	12%
Valle Algarrobal	01/01/99 al 31/12/1999	7125	293	889	12%	109	37%	36	12%
Miramar	01/01/99 al 31/12/1999	7930	327	613	8%	90	28%	15	5%
Alto Ilo	01/01/99 al 31/12/1999	7429	295	342	5%	47	16%	8	3%
Pampa Inalámbrica	01/01/99 al 31/12/1999	8364	346	218	3%	26	8%	4	1%
Pampa de Palo	07/09/99 al 31/12/1999	2141	88	18	1%	3	3%	0	0%

Cuadro N° 10- Comparación de los niveles de contaminación en Ilo, con normas Nacionales e Internacionales, periodo 2000

Institución que determina la Norma				OMS				Perú MEM	
Límite máximo permisible				350 µg/m3		125 µg/m3		572 µg/m3	
Tiempo				1 hora		1 día		1 día	
Lugar	Periodo de Muestreo			Cantidad de horas sobrepasadas		Cantidad de días sobrepasados		Cantidad de días sobrepasados	
	Fecha	Horas	Días	Horas	Porcentaje	Días	Porcentaje	Días	Porcentaje
Ciudad Jardín	01/01/00 al 31/12/2000	7785	320	817	10%	109	34%	14	4%
Valle Algarrobal	01/01/00 al 31/12/2000	7179	286	1079	15%	128	45%	32	11%
Miramar	01/01/00 al 31/12/2000	8260	344	596	7%	90	26%	12	3%
Alto Ilo	01/01/00 al 31/12/2000	6945	275	325	5%	37	13%	5	2%
Pampa Inalámbrica	01/01/00 al 31/12/2000	8300	343	311	4%	43	13%	4	1%
La Punta de Bombón	01/01/00 al 31/12/2000	5289	220	201	4%	34	15%	0	0%

Cuadro N° 11.- Comparación de los niveles de contaminación en Ilo, con normas Nacionales e Internacionales, periodo 2001

Institución que determina la norma				OMS				Peru MEM		Peru D.S. 074-2001-PCM	
Límite Máximo Permisible				350 µg/m3		125 µg/m3		572 µg/m3		365 µg/m3	
Tiempo				1 hora		1 día		1 día		1 día	
Lugar	Periodo de Muestreo			Cantidad de Horas sobrepasadas		Cantidad de Días sobrepasados		Cantidad de Días sobrepasados		Cantidad de Días sobrepasados	
	Fecha	Horas	Días	Horas	Porcent	Días	Porcent	Días	Porcent	Días	Porcent
Ciudad Nueva	01/01/01 al 31/12/2001	8316	348	622	7%	76	22%	14	4%	26	7%
Valle Algarrobal	01/01/01 al 31/12/2001	5074	195	727	14%	86	44%	29	15%	44	23%
Miramar	01/01/01 al 31/12/2001	8369	350	406	5%	51	15%	7	2%	16	5%
Alto Ilo	01/01/01 al 31/12/2001	8194	332	228	3%	22	7%	3	1%	8	2%
Pampa Inalámbrica	01/01/01 al 31/12/2001	7198	296	71	1%	13	4%	0	0%	2	1%

5. PROBLEMAS Y DIFICULTADES DURANTE EL DESARROLLO DEL PROYECTO

Durante los inicios de la operación del proyecto, fue muy importante, el apoyo técnico de la Escuela Profesional de Física de la Universidad Nacional de San Agustín, en la puesta en operación de los analizadores automáticos de dióxido de azufre.

También ocurrió que durante la operación de los analizadores automáticos de dióxido de azufre, ya instalados en las estaciones de monitoreo en la ciudad de Ilo, entre los años 1998 y 1999, los cortes de energía originaban la pérdida de información, por lo que la Universidad Nacional de San Agustín, por intermedio de la Escuela Profesional de Física, realizó la programación de los sistemas de adquisición de datos para que de forma automática se almacene la información y se reinicie el sistema, considerando que las estaciones de monitoreo se encontraban instaladas en diferentes puntos de la ciudad de Ilo.

Los analizadores automáticos de dióxido de azufre, estuvieron en operación continua desde el inicio del proyecto en el año 1998, en los siguientes años empezaron a presentar fallas en su funcionamiento debido a problemas técnicos.

Algunos de estos problemas técnicos, se debieron a que sus ambientes de operación (casetas) no eran adecuados, por las elevadas temperaturas en su interior, sin embargo, con la finalidad de optimizar su funcionamiento, las casetas fueron acondicionadas, instalándoles un ventilador en el interior de la caseta.

Otro de los aspectos, fue la operación y mantenimiento de estos equipos, en cuanto a la operación era necesario contar con gases estándar de calibración, con la finalidad de validar la información generada por los analizadores, asimismo, debido a la inaccesibilidad y alto costo de los repuestos, a pesar de que se realizaban labores de mantenimiento preventivo, era necesario ir renovando algunos accesorios, como el sistema neumático (bomba de aire), lámparas de luz ultravioleta, entre otros.

Un aspecto importante fue que no se contaba con un laboratorio, con instrumentos y equipos para realizar el mantenimiento y la reparación de los analizadores automáticos, asimismo, considerando que fue un organismo del estado, la Municipalidad Provincial de Ilo, que asumió la operación y mantenimiento de las estaciones de monitoreo, no contaba con un presupuesto asignado para su continuidad.

Entre otros aspectos, durante los inicios del proyecto, a nivel nacional no se tenía mucha experiencia en la operación de sistemas de monitoreo de calidad del aire.

5.1. Resultados de la Auditoria al Sistema de Monitoreo de Calidad del Aire

A inicios del año 2003, la Organización Panamericana de la Salud (OPS), a través del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), solicitó a la Compañía de Tecnología de Saneamiento Ambiental (CETESB, por sus siglas en portugués) una asesoría técnica para evaluar el sistema de monitoreo de la calidad del aire de la ciudad de Ilo. El trabajo consistió en evaluar el entorno de las estaciones, los procedimientos de muestreo y análisis, los equipos, las instalaciones y el personal técnico.

Algunos de los aspectos más importantes de la evaluación, fueron las recomendaciones realizadas, como la instalación de la conexión a tierra en todas las estaciones, incluso en la meteorológica, mejorar e invertir en sistemas estabilizadores de tensión para subsanar el problema de inestabilidad de la energía eléctrica, optimizar el sistema de medición, reubicando los analizadores para disminuir la longitud de las líneas de muestreo de teflón, adquirir medidores de flujo estándar para garantizar la calidad de las calibraciones multipunto, adquirir equipos para verificar y calibrar los sensores meteorológicos así como repuestos para los analizadores, adquirir herramientas que permita el desmontaje total de los equipos para facilitar el mantenimiento correctivo y preventivo, adquirir una fuente de tensión continua variable, necesaria para calibrar las placas de obtención de datos.

Establecer un plan de renovación del sistema de monitoreo que incluya la readaptación de las estaciones (cabina, longitud de la línea de muestreo, control de la temperatura y de la entrada de energía), de modo que las estaciones se encuadren en el estándar internacional de calidad; implementar un sistema automático de adquisición y manejo de datos (software y hardware) a fin de evitar la inseguridad que se genera cuando un operador se encarga del manejo de los datos y comprar estándares certificados reconocidos internacionalmente para rastrear los estándares usados en la red.

Montar una unidad para el mantenimiento con salida de aire comprimido, tomas estabilizadas y con conexión a tierra e instrumentos de medición (osciloscopios, frecuencímetro y multímetro de unidad).

Contratar a un profesional del área de electrónica para que asesore en los aspectos relacionados con la parte eléctrica de las estaciones y en el mantenimiento correctivo de todos los equipos (analizadores, meteorológicos, dataloggers, multicalibradores, estabilizadores de tensión, etc.).

6. SITUACIÓN ACTUAL DEL PROYECTO DE CALIDAD DE AIRE

La Municipalidad Provincial de Ilo, continuó con el proyecto de monitoreo de calidad de aire durante los periodos 2003 a 2007, sin embargo, durante los periodos 2008 y 2009, los analizadores automáticos de dióxido de azufre, empezaron a presentar deficiencias debido al uso continuo por más de diez años, habiendo cumplido con su periodo de operación, en este sentido, el sistema de monitoreo de calidad de aire reinició sus operaciones desde junio del 2012 con la implementación de equipos donados por la empresa SPCC por acuerdo con la mesa de diálogo. Actualmente, cuenta con tres estaciones de monitoreo instaladas en las estaciones de monitoreo de Ciudad Nueva, El Algarrobal y una en el Centro de Salud de Alto Ilo.

6.1. CRONOLOGÍA DE EVENTOS SOBRE CALIDAD DEL AIRE EN ILO

El 2001 se aprobó el Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire, a través del Decreto Supremo Nº 074-2001-PCM, el cual establecía un Estándar de Calidad Ambiental de Aire (ECA) de 365 $\mu g/m^3$ promedio 24 horas para dióxido de azufre, asimismo, establecía 13 zonas de atención prioritaria en nuestro país, las cuales deberían elaborar sus Planes de Acción para para cumplir con los Estándares de Calidad Ambiental del Aire establecidos en el mismo dispositivo.

La ciudad de Ilo, fue una de las 13 zonas, prioritarias, y de acuerdo al Reglamento, se creó el Grupo de Estudio Técnico Ambiental (GESTA) Zonal del Aire de la provincia de Ilo, con Decreto de Consejo Directivo Nº 027-2001-CD-CONAM, el objetivo del GESTA Zonal de Aire, fue evaluar de manera integral la calidad ambiental de la Provincia de Ilo y elaborar el Plan de Acción para el mejoramiento de la Calidad de Aire de Ilo, o también denominado Plan de Acción A Limpiar el Aire (PALA) de Ilo, para lo cual, como primer paso debería realizar el Diagnóstico de la Línea Base, a través de los siguientes estudios específicos: Monitoreo de la Calidad de Aire, Inventario de emisiones atmosféricas (fuentes móviles), Inventario de emisiones atmosféricas (fuentes fijas), Definición de la Cuenca Atmosférica de Ilo y un Estudio Epidemiológico.

En el año 2003, el proyecto Monitoreo de la Calidad del Aire de Ilo, fue auditado por la Dirección de Ingeniería Ambiental del Departamento de Calidad Ambiental de la División de Calidad del Aire de la COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB) de Brasil.

En setiembre de 2005, se aprobó el protocolo de Calidad de Aire y Gestión de los Datos, con Resolución Directoral N° 1404-2005-DIGESA-SA.

El 31 de enero del 2007 la empresa Southern Peru Copper Corporation culmina el proyecto de modernización de la fundición, en cumplimiento a su Plan de Adecuación y Manejo Ambiental - PAMA y también como parte de las medidas consideradas en el Plan de Acción para el mejoramiento de la Calidad de Aire de la provincia de Ilo, elaborado por el Grupo de Estudio Técnico Ambiental (GESTA) Zonal del Aire en cumplimiento a lo establecido en el Decreto Supremo N° 074-2001-PCM. La modernización de la Fundición, permitió incrementar la captura del dióxido de azufre de 33% a más del 92%, los que eran vertidas directamente al ambiente en la zona de la Fundición, ubicada a 17 km al norte de la ciudad de Ilo.

El 2008 se aprobaron nuevos Estándares de Calidad Ambiental del Aire, a través del Decreto Supremo Nº 003-2008-MINAM, el cual establecía un Estándar de Calidad Ambiental de Aire (ECA) de 80 $\mu g/m^3$ promedio 24 horas para dióxido de azufre, asimismo, establecía que a partir del 01 de enero de 2014 el Estándar de Calidad Ambiental de Aire (ECA) debería ser de 20 $\mu g/m^3$ promedio 24 horas para dióxido de azufre.

En mayo de 2010, la Municipalidad Provincial de Ilo, aprobó el Plan de Acción A Limpiar el Aire de Ilo, con Ordenanza Municipal N° 460-2010-MPI.

En el año 2012, se estableció la vigencia del GESTA Zonal del Aire de la provincia de Ilo, según Resolución Ministerial 339-2012-MINAM, el mismo que fue creado con Decreto de Consejo Directivo Nº 027-2001-CD-CONAM, de acuerdo a lo establecido en el Decreto Supremo 074-2001-PCM, según esta Resolución Ministerial, la finalidad de la vigencia de los GESTAS Zonales del Aire, es actualizar los planes de Acción, en nuestro caso existe la necesidad por diferentes motivos, el diagnóstico de la calidad de aire fue elaborado con información cuyo año base fue el 2003, por lo cual la información se

encuentra desactualizada, asimismo, se cuenta con nuevos Estándares de Calidad Ambiental del Aire, según Decreto Supremo 003-2008-MINAM.

En setiembre de 2013, se vuelve a conformar el Grupo de Estudio Técnico Ambiental Zonal de Aire para la provincia de Ilo, con Resolución Ministerial N° 257-2013-MINAM.

En junio de 2013, se aprobaron disposiciones complementarias para la aplicación del Estándar de Calidad Ambiental de Aire para Dióxido de Azufre (SO_2), aprobado mediante Decreto Supremo N° 003-2008-MINAM, estas disposiciones establecían que se mantendría vigente el Estándar de Calidad Ambiental de Aire para dióxido de azufre, de 80 $\mu g/m^3$, en aquellas ciudades o zonas en las que el Ministerio del Ambiente establezca que, como resultado de los monitoreos ambientales continuos y representativos de los últimos doces meses anteriores al 01 de enero de 2014, registren valores diarios superiores a 20 $\mu g/m^3$ de dióxido de azufre (SO2) en el aire.

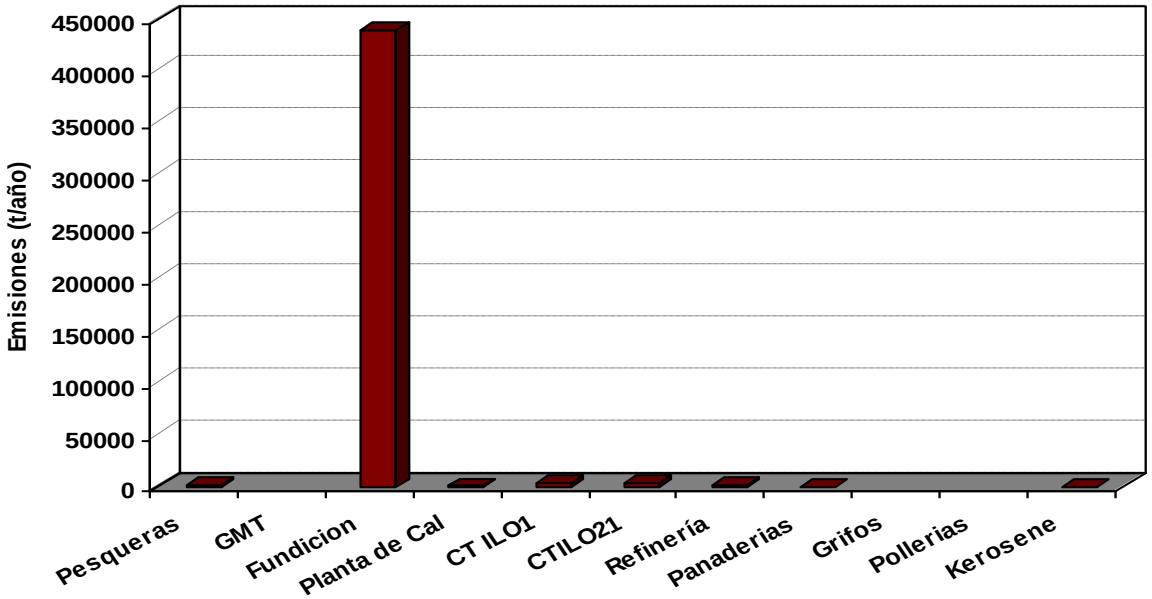
En julio de 2013, con Resolución Ministerial N° 205-2013-MINAM, se establecieron las Cuencas Atmosféricas en las cuales se mantendría vigente el ECA de 80 $\mu g/m^3$, Cuenca atmosférica de Ilo, Cuenca atmosférica de Arequipa y, la Cuenca atmosférica de La Oroya.

En junio de 2017, mediante Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM, se aprobaron nuevos Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire y establece un Estándar de Calidad Ambiental de Aire (ECA) de 250 $\mu g/m^3$ promedio 24 horas para dióxido de azufre.

6.2. COMPORTAMIENTO DE LOS NIVELES DE SO_2 EN EL TIEMPO

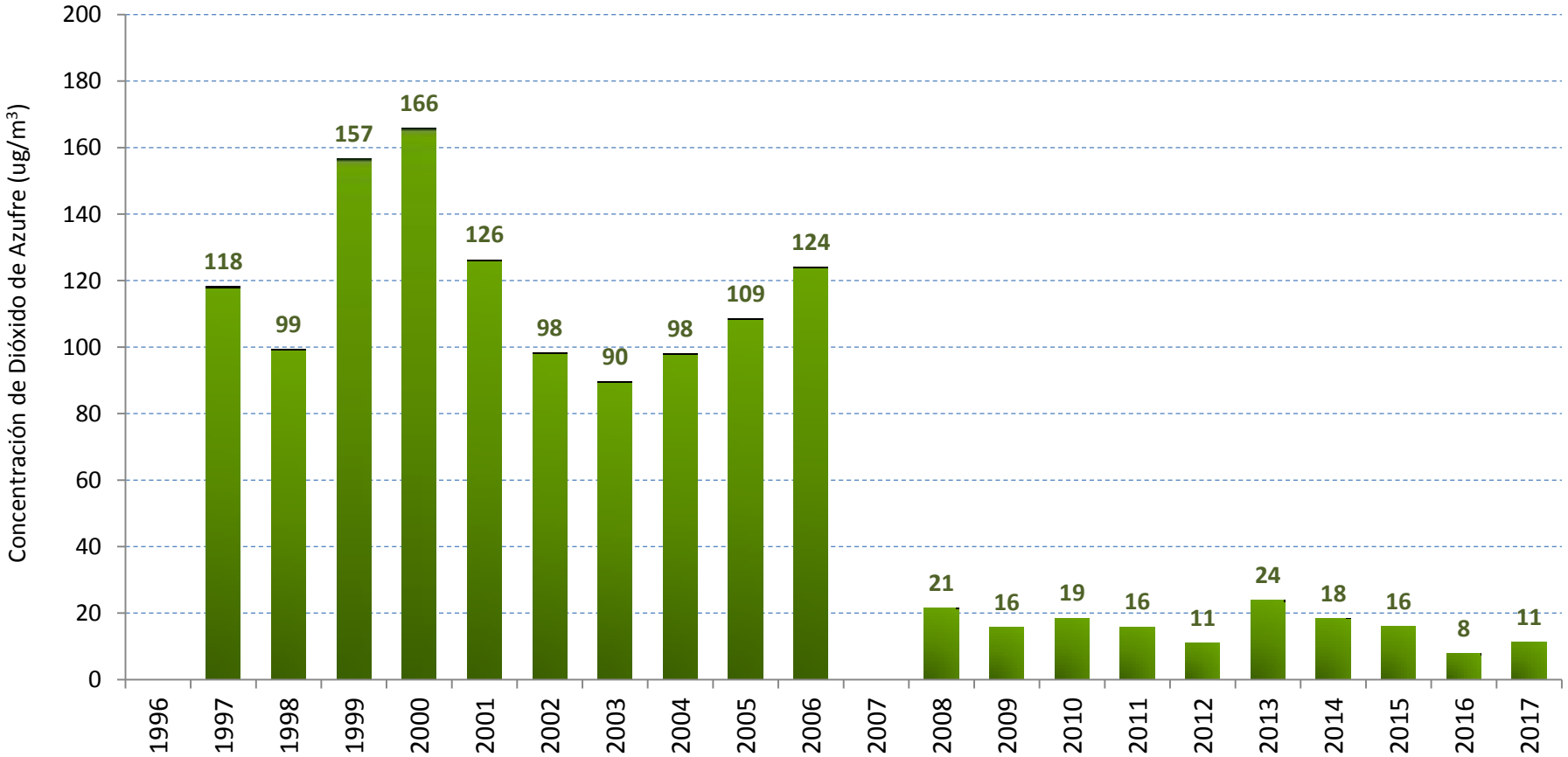
Según el Inventario de Emisiones de fuentes fijas del Plan de Acción A Limpiar el aire de Ilo, aprobado con Ordenanza Municipal N° 460-2010-MPI, la fundición de la empresa Southern Peru Copper Corporstion, era el mayor contribuyente de emisiones de dióxido de azufre con un 98,5% del total de emisiones en la provincia de Ilo.

Gráfico N° 50.- Emisiones de dióxido de azufre de Fuentes Fijas en la provincia de Ilo



Luego del inicio de la modernización de la fundición de la empresa Southern Peru Copper Corporation, la cual permitió incrementar la captura del dióxido de azufre de 33% a más del 92%, en el año 2007, los niveles de contaminación de dióxido de azufre disminuyeron.

Gráfico N° 51.- Promedios Anuales de los niveles de concentración de SO_2 (ug/m^3)



Fuente: INEI Anuarios Ambientales con información del Ministerio de Energía y Minas - Dirección General de Asuntos Ambientales

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones generales

Como parte del desarrollo de los servicios profesionales prestados en el proyecto de monitoreo de calidad ambiental del aire de Ilo, se realizaron las siguientes actividades

Se realizó la recolección de data cruda generada por los analizadores automáticos de las seis estaciones de monitoreo, los cuales fueron procesados para obtener datos de los niveles de concentración de dióxido de azufre, asimismo, durante el periodo 2002, se realizó la recolección y procesamiento de datos generados por la estación meteorológica.

En coordinación y apoyo del operador de campo y personal de mantenimiento, se realizaron las acciones de calibración y mantenimiento en cada una de las estaciones de monitoreo.

Se realizó el análisis de la información y elaboración de reportes, diarios, semanales, mensuales y anuales del monitoreo de calidad ambiental del aire, así como la elaboración de los reportes meteorológicos.

Se elaboraron e implementaron algunos procedimientos, necesarios para una adecuada gestión de aseguramiento y control de calidad del sistema de monitoreo de calidad ambiental del aire, entre ellos el procedimientos para la recolección de datos, calibración de los analizadores automáticos, mantenimiento preventivo y transmisión de datos en tiempo real para la implementación de un Plan de Contingencia Atmosférico.

La base de datos de calidad del aire obtenida, fue el producto de un trabajo técnico, implementado en base a los procedimientos y protocolos de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos.

Se participó de una auditoria internacional de Evaluación del Sistema de Monitoreo de la Calidad del Aire en la ciudad de Ilo - Perú, realizada al proyecto de monitoreo de calidad ambiental del aire de Ilo, por la Compañía de Tecnología de Saneamiento Ambiental (CETESB, por sus siglas en portugués) de Brasil, a solicitud del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) de la Organización Panamericana de la Salud (OPS), la misma que determino implementar algunas recomendaciones para mejorar el sistema de monitoreo.

Los reportes de monitoreo de calidad ambiental del aire, fueron remitidos en este entonces a las autoridades del Ministerio de Energía y Minas, Consejo Nacional del Ambiente y la Dirección General de Salud Ambiental del Ministerio de Salud, para la reglamentación y legislación correspondiente, esta base de datos de monitoreo de calidad de aire, fue parte de los insumos utilizados por el Consejo Nacional del Ambiente para la elaboración del Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire, aprobados con Decreto Supremo N° 074-2001-PCM, en el año 2001.

Los resultados de los niveles de concentración de dióxido de azufre en el aire ambiental, durante los periodos de evaluación de 1998 al 2002, superaron los niveles máximos permisibles de 572 µg/m^3, establecidos mediante la Resolución Ministerial N° 315-96-EM/VMM para emisiones gaseosas provenientes de las unidades minero metalúrgicas, asimismo, superaron los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire de 365 µg/m^3, aprobados con Decreto Supremo N° 074-2001-PCM, en el año 2001.

Luego del análisis de la información generada por el sistema de monitoreo de calidad ambiental del aire, se identificaron episodios durante algunas horas de la mañana, con altos niveles de concentración de dióxido de azufre, por lo que la Asociación Comité de Manejo Ambiental, la Municipalidad Provincial de Ilo, el Ministerio de Salud y la Dirección Regional de Educación, implementaron medidas de prevención para proteger la salud de la población, una de estas medidas fue Plan de Contingencia Atmosférico, el cual consistía en realizar la verificación en tiempo real de los niveles de concentración de dióxido de azufre en la ciudad de Ilo, cuando ocurrían estos episodios, se comunicaba inmediatamente por teléfono a los Centro Educativos, el inicio de ocurrencia de este tipo de eventos, y se evite la realización de actividades física entre otros, los cuales que agravan la salud sobre todo de las poblaciones vulnerables como los niños y ancianos, una vez culminado el episodio de contaminación, se comunicaba inmediatamente para que se retorne al desarrollo de sus actividades de manera regular.

Los resultados del monitoreo de la calidad ambiental del aire permitieron determinar que el Valle del Algarrobal, es el sector más contaminado de la Provincia de Ilo, seguido por Ciudad Jardín, Miramar, Alto Ilo y la Pampa Inalámbrica, asimismo, los niveles de concentración de dióxido de azufre más elevados, se producen por lo general durante las primeras horas de la madrugada y en la estación de verano

Los analizadores automáticos de dióxido de azufre, han presentado un rendimiento operativo aceptable, logrando obtenerse un promedio de 90% en cuanto a captación de datos, siendo la mayor dificultad presentada en el sistema de monitoreo del aire, los cortes de energía eléctrica, lo cuales provocan daños en el sistema eléctrico de los equipos.

7.2. Recomendaciones

Implementar las recomendaciones realizadas en la auditoría, por la Compañía de Tecnología de Saneamiento Ambiental (CETESB), lo cual permitirá fortalecer el sistema de monitoreo de calidad ambiental del aire.

Continuar con el proyecto de monitoreo de calidad ambiental del aire, como una acción de vigilancia.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

PNUMA/OMS, 2002. Manuales de Metodología de GEMS/Aire. Volumen 1. Aseguramiento de la calidad en el monitoreo de la calidad del aire urbano. Traducción del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (OPS/CEPIS).

Asociación Comité de Manejo Ambiental - ILO. Monitoreo Permanente de la Calidad del Aire en Ilo. Comunicación personal. 2000.

Asociación Comité de Manejo Ambiental – ILO. Plan de Contingencia de la Ciudad de Ilo. Ilo, 2001.

Balvin Diaz, D. (1995). Agua, Mineria y Contaminación El Caso Southern Peru. Ilo: Ediciones Labor.

EPA, E. (1994). Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems. Volume I: A Field Guide to Environmental Quality Assurance. Washington: Office of Research and Development Atmospheric Research and Exposure Assesment Laboratory.

EPA, E. (1998). Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurements Systems. Vol. II: Part 1, Ambient Air Quality Monitoring Program Quality System Development, EPA-454/R-98-004. Washington: Office of Air Quality Planning and Standards.

Herrera, E. A. (2002). Biblioteca Virtual de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental. Obtenido de http://www.bvsde.paho.org/bvsci/e/fulltext/labor/herrera.pdf

INE, I. (2010). Manual 3: Redes estaciones y equipos de medición de la calidad del aire. México: SEMARNAT.

Kamst, A. (1998). Monitoreo Permanente de Calidad de Aire en Ilo, Resultados año 1998. Ilo: Asociación Comite de Manejo Ambiental.

Kamst, A. (1999). Monitoreo Indicativo de Calidad de Aire en Ilo, Resultados y evaluación 1997-1998: Asociación Comité de Manejo Ambiental. Documento de Trabajo.

Martínez Bolívar, A. P., & Romieu, I. (1997). Introducción al Monitoreo Atmosférico. Departamento del Distrito Federal de Mexico: Red Automática de Monitoreo Atmosférico de México (RAMA).

Narciso Chávez, J. (1996). Monitoreo de la Calidad del Aire de la ciudad de Ilo, año 1996. Ilo: Ministerio de Salud - DIGESA.

PNUMA/OMS. (2002). Organización Panamericana de la Salud - Organización Mundial de la Salud. Obtenido de https://www.paho.org/

Asociación Comité de Manejo Ambiental – ILO. Proyecto "Ilo: Aire Limpio". Monitoreo Permanente de Calidad del Aire en Ilo. Resultados del año 1998.

Cáceres Deza, H. Programa de Monitoreo de la Calidad del Aire para el Perú. Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA). Lima, 1998.

Boon, R. G., Alexaki, A., & Becerra, E. H. (2001). The Ilo Clean Air Project: a local response to industrial pollution control in Peru. Environment and Urbanization, 13(2), 215-232.

Municipalidad Provincial de Ilo. (2001). Ordenanza Municipal N° 122 Ordenanza que aprueba el Plan de Contingencia para la provincia de Ilo.

Municipalidad Provincial de Ilo. (2010). Ordenanza Municipal N° 460-2010-MPI. Ordenanza que aprueba el Instrumento de Gestión Ambiental de Mejoramiento de la Calidad del Aire en la provincia de Ilo, denominado “A Limpiar el Aire de Ilo”.

Martínez, A. P., & Romieu, I. (1997). Introducción al monitoreo atmosférico. ECO.

Presidencia del Consejo de Ministros. (2001). Decreto Supremo N° 074-2001-PCM. Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire.

Korc, M. E., & PROCEE, P. (1999). Curso de Orientación para el Control de la Contaminación del Aire. S/E. Washington DC.

9. ANEXO

9.1. Procedimiento para realizar la calibración estándar

- Registrar la visita de campo en el cuaderno de registro con la información correspondiente, fecha, hora, actividades realizadas, calibración, mantenimiento, entre otros aspectos.

- Antes de iniciar la calibración, verificar la operatividad del analizador, revisar que el analizador se encuentre operando con el flujo correcto (0,40 a 0,50 LPM). Tal como se aprecia en la Figura N° 1

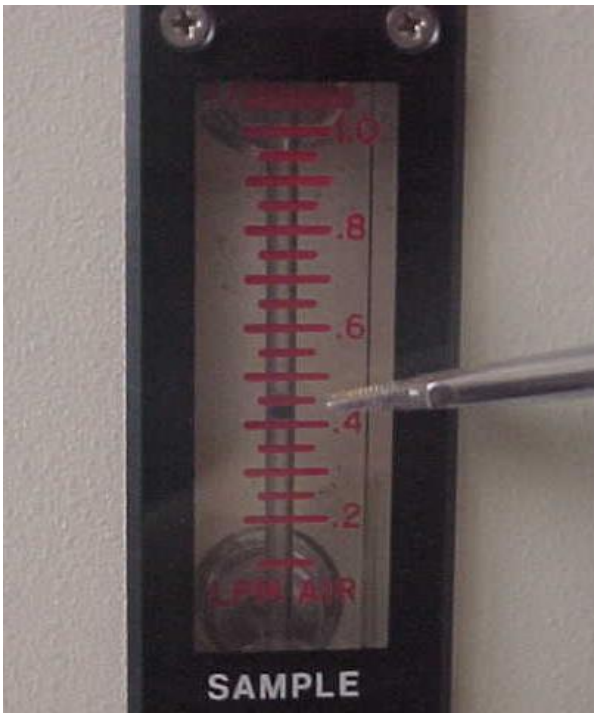


Gráfico N° 52.- Medidor de flujo del analizador

- Detener el programa de adquisición de datos de la computadora, verificar que la información se encuentre almacenada, antes de cargar el programa de calibración.

- Desconecte la línea de muestra (manguera de teflón) de la parte posterior del analizador, instalar el filtro de carbón activado y conectarlo al analizador para

verificar el span 0 ppm. Durante todo el procedimiento el analizador no debe ser apagado. Tal como se aprecia en la Figura N° 2.

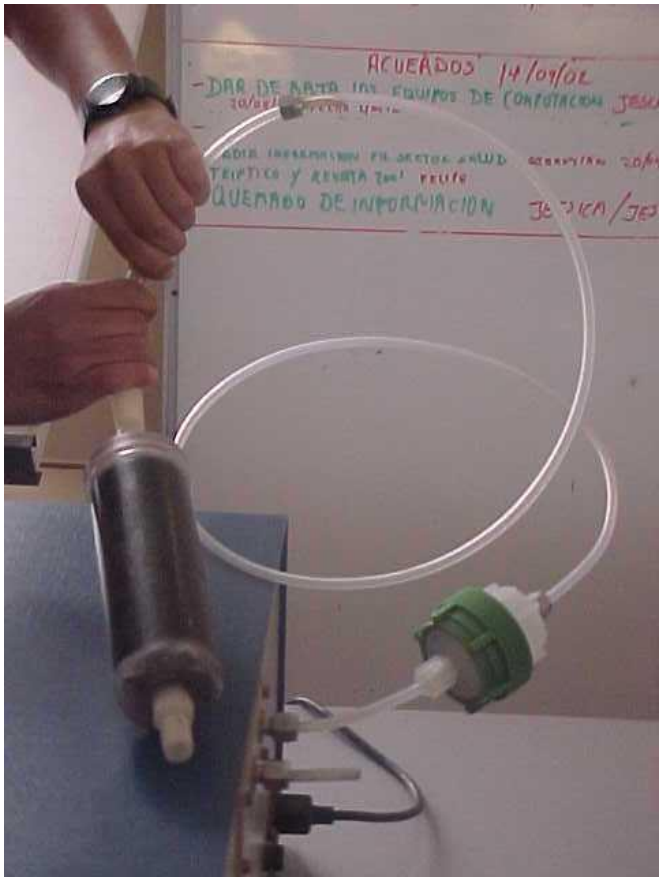


Gráfico N° 53.- Tubo de carbón activado

- Considerando que el tiempo de respuesta del analizador es de 6 minutos, según las especificaciones técnicas del analizador, se espera un tiempo prudencial de 10 a 15 minutos, para que se estabilice la señal, el valor registrado en el multímetro deberá ser de aproximadamente 0 Voltios. Registrar la señal o también puede realizar el ajuste en el analizador ZERO. Tal como se aprecia en la Figura N° 3.

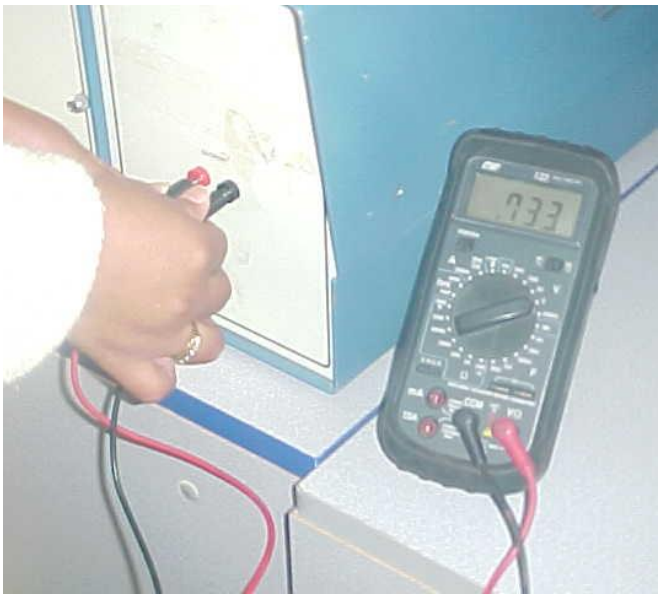


Gráfico N° 54.- Medición de voltaje en el multímetro

- Instalar la válvula con el gas estándar de menor concentración y conectarlo con el rotámetro, para controlar el flujo que ingresará al analizador. Este deberá ser mayor al de la capacidad de este (0.8 a 1.0 LPM). Para ello nos ayudaremos con un conector en T .De la misma forma que en el anterior caso esperamos un tiempo hasta que la respuesta del analizador sea estable.

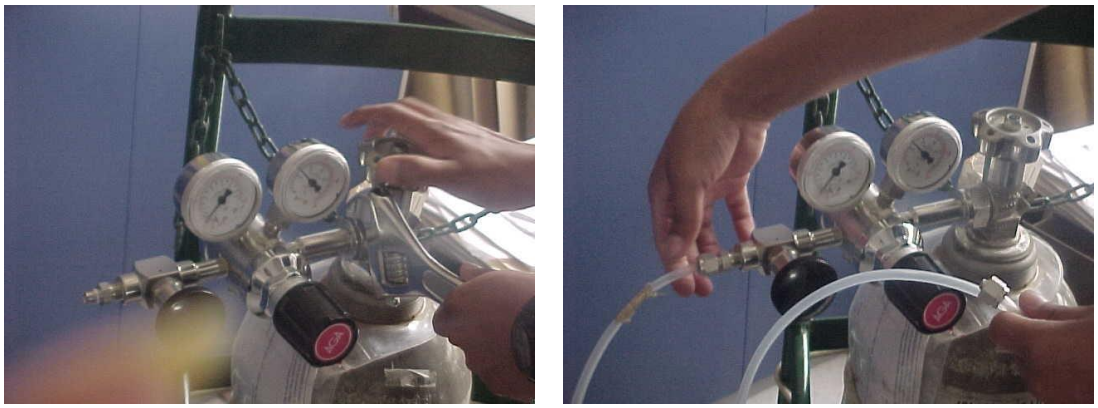


Gráfico N° 55.- Instalación de la válvula y la manguera de teflón

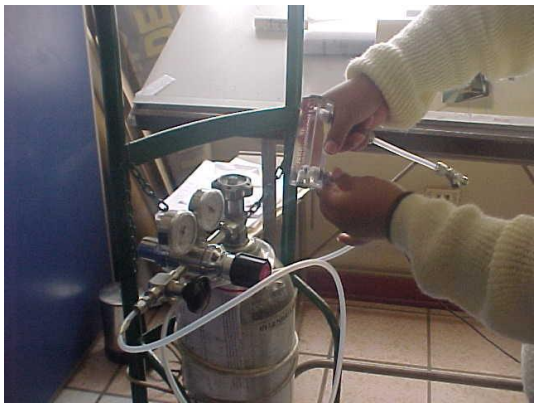
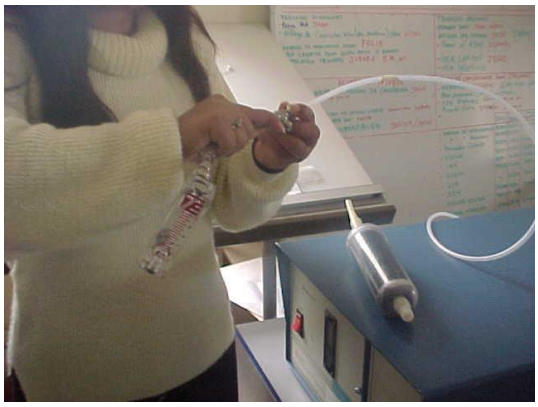



Gráfico N° 56.- Instalación del Rotámetro y el conector T

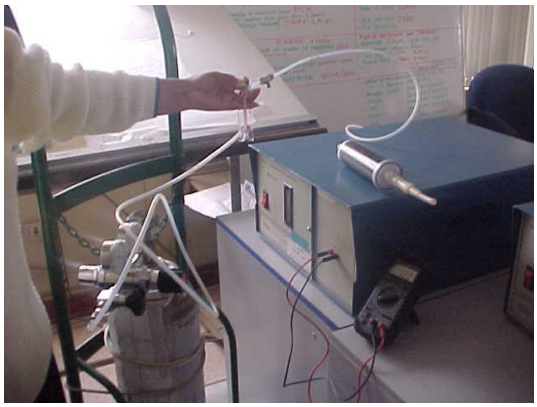


Gráfico N° 57.- Lectura del Rotámetro y culminación de la instalación de calibración

- La respuesta del analizador es proporcional al voltaje registrado, es decir si nuestro gas estándar de calibración fuese de 2 PPM, el voltaje medido deberá ser de 2 Voltios, caso contrario deberá ser ajustado, para ello utilizaremos el SPAN. Nuestros datos serán confiables dentro de un margen de error del 10%.
- Después de ajustar la respuesta del analizador, procederemos a limpiar la cámara del equipo con el filtro de carbón, antes de inyectarle el segundo gas de calibración.

- Para el ajuste con el segundo gas estándar se procede igual que en el paso (V). En el caso que en este punto se necesite ajustar el SPAN, procederemos nuevamente a realizar los pasos en el orden V y IV. Caso contrario limpiaremos la cámara del analizador y verificaremos nuevamente su ZERO, para dejarlo operando en forma normal.

- Los analizadores no siempre necesitan ser ajustados, su respuesta es estable y quizás necesiten ser levemente ajustados cada 3 ó 4 calibraciones. Todo este procedimiento deberá registrarse en una Hoja de Calibraciones, para cada estación de monitoreo.

9.2. Especificaciones de los gases estándar de calibración

Componente : Dióxido de azufre
Balance : Nitrógeno
Concentración : 100 ppm
Certificación : Protocolo EPA/Estándar Certificado
Válvula : CGA 660
Presión nominal del cilindro : 2000 psi
Volumen nominal cilindro : 78 pies cúbicos
Dimensiones del cilindro : 1216 mm de altura por 203 mm de diámetro

Componente : Aire puro
Certificación : Estándar Certificado
Válvula : CGA 660
Presión nominal del cilindro : 2000 psi
Volumen nominal cilindro : 78 pies cúbicos
Dimensiones del cilindro : 1216 mm de altura por 203 mm de diámetro

Componente : Dióxido de azufre
Balance : Nitrógeno
Concentración : 2 ppm
Certificación : Protocolo EPA/Estándar Certificado
Válvula : CGA 660
Presión nominal del cilindro : 2000 psi
Volumen nominal cilindro : 78 pies cúbicos
Dimensiones del cilindro : 1216 mm de altura por 203 mm de diámetro

Componente : Dióxido de azufre
Balance : Nitrógeno
Concentración : 8 ppm

Certificación	: Protocolo EPA/Estándar Certificado
Válvula	: CGA 660
Presión nominal del cilindro	: 2000 psi
Volumen nominal cilindro	: 78 pies cúbicos
Dimensiones del cilindro	: 1216 mm de altura por 203 mm de diámetro