

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Ingeniería Ambiental



**“CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA
POR PLOMO EN EL CERCADO DE LIMA
METROPOLITANA”**

TESIS:

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO DE HIGIENE Y SEGURIDAD
INDUSTRIAL**

- Celso Nicanor Barreto Dávila
- José Wilfredo Gutierrez Guerra

L i m a - P e r ú
1 . 9 9 7

- La cristalización de uno de mis objetivos de ser un Profesional se lo debo a mi madre la Sra. Virgina Dávila R. de Barreto por haberme motivado y encaminado por la senda del bien y del éxito. Esta investigación es en memoria a ella, mi omnipresente madre.

- Un singular reconocimiento al aporte decisivo e incondicional de mi padre el Sr. Julio Barreto Valenzuela y a mis hermanos Frida, Julio, Elva, Edita, Marina, Jorge, Noel, Nayhua y Norma. que contribuyeron desinteresadamente en mi formación profesional a ellos mi más ascendrado y profundo reconocimiento.

- A mis padres que hicieron posible concretar mis sueños de ser un Profesional. A Estela Guerra y Alejandro Gutierrez mis queridos padres mis más amplios y ascendrados reconocimientos; asimismo a mis hermanas por su apoyo incondicional.

Agradecimientos:

- Al Ing. Jorg. Ruiz Botto por su atinada y excelente asesoría en el logro de la presente investigación que coadyuvará en la solución de esta problemática medioambiental que aqueja nuestra ciudad capital.
- Al Director General de la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA) y al Director Adjunto el Ing. Juan Narciso nuestros profundos reconocimientos por su apoyo decisivo en la ejecución de nuestro ambicioso Proyecto de Investigación, facilitándonos equipos y Laboratorios de la Institución.
- A la Ing. Rosa Almeida Tasaico y a sus colaboradores del Laboratorio de DIGESA nuestro más profundo agradecimiento por su asesoría en el análisis químico de las muestras de campo.
- A los Bachilleres José Fuentes y Arturo Gómez por su colaboración desinteresada en los trabajos de monitoreo en cada uno de los puntos de muestreo del Cercado de Lima.
- Al Gerente General Dr. Boris Boor Fiala y al Gerente del Area de Medio Ambiente el Ing. Virgilio Panduro de PACIFIC S.A. nuestro intrínseco reconocimiento por haber hecho posible el uso de la Red para la elaboración de la Tesis.
- Al Sr. Enrique Peralta por su excelente asesoría en la elaboración de la Tesis por su amplio dominio en el manejo del Sofwart y la red de la Cía. Pacific S.A.
- A los Srs. Administradores de los Edificios CONACO, Centro Lima, Anglo-Peruano y Cine Central por permitirnos usar sus instalaciones para los trabajos de muestreo. A ellos nuestro rolizo agradecimiento.

Indice

1. INTRODUCCIÓN	5
2. CONSIDERACIONES GENERALES	7
2.1. Propiedades físicas y químicas del plomo.....	8
2.2. Efectos de la contaminación por plomo.....	11
2.3. Efectos de adición, sinérgico y antagónico del plomo.....	14
2.4. Antecedentes de la contaminación de plomo en el Perú.....	16
2.5. Fuentes de emisión de plomo.....	19
2.5.1. Parque automotor	24
2.5.2. Industrias minero - metalúrgicas	29
2.5.3. Fábrica de pinturas.....	29
2.5.4. Fábricas de baterías	31
2.6. Estudios de Plomo en el mundo.....	33
3. LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE DE PLOMO PARA LA CALIDAD DEL AIRE.....	34
3.1. Límites máximos permisibles de Plomo en el Perú.....	35
3.2. Límites máximos permisibles de Plomo en otros países.....	35
4. PLANEAMIENTO Y EJECUCIÓN DEL ESTUDIO.....	37
4.1. Selección del ámbito de muestreo.....	38
4.2. Ubicación y características de las estaciones de muestreo.....	38
4.2.1. Estación de muestreo (E-1).....	40
4.2.2. Estación de muestreo (E-2).....	41
4.2.3. Estación de muestreo (E-3).....	42
4.2.4. Estación de muestreo (E- 4).....	43
4.3. Período de muestreo.....	43
4.4. Método de muestreo.....	44
4.4.1. Calibración de los equipos muestreadores	46
4.4.2. Preparación y manejo de los filtros colectores	59
4.4.3. Procedimiento de muestreo	60
4.5. El Análisis de las muestras.....	60

4.5.1. Materiales, reactivos e instrumentos utilizados	61
4.5.2. Procedimiento de análisis	63
4.6. Control de los parámetros meteorológicos durante el estudio	69
4.7. Procesamiento de datos.....	73
4.7.1. Determinación de la altura media (Δh) alcanzado por el manómetro de campo	74
4.7.2. Cálculo del flujo real	74
4.7.3. Tiempo de muestreo	74
4.7.4. Volumen de aire muestreado	75
4.7.5. Peso total de las partículas colectadas en el muestreo	76
4.7.6. Cálculo de la cantidad de Plomo por muestra y por estación.	77
4.7.7. Concentración de Plomo en el aire.....	78
4.8. Cronograma de actividades	79
5. RESULTADOS.....	79
5.1. Concentración de plomo por estaciones de muestreo.....	80
5.1.1. Estación de muestreo de la Av. Abancay (E-1).....	80
5.1.2. Estación de muestreo de la Plaza Grau	86
5.1.3. Estación de muestreo de la A. Tacna (E-3)	91
5.1.4. Estación de muestreo de la Av. Uruguay (E-4).....	96
5.2. Concentración de plomo en el Cercado de Lima Metropolitana.....	101
5.3. Cuadro comparativo de las concentraciones de partículas suspendidas (PTS) y Plomo en las cuatro estaciones de muestreo del Cercado de Lima Metropolitana.....	106
6. CONCLUSIONES	109
7. RECOMENDACIONES	115
7.1. Programa de control para la contaminación atmosférica por plomo en el Cercado de Lima Metropolitana.....	117
7.1.1. Objetivo.....	117
7.1.2. Periodos de control	117
8. BIBLIOGRAFÍA.....	121
9. ANEXOS	124
9.1. Zonas aledañas al Cercado de Lima que estarían afectadas por la Contaminación por plomo.....	124
9.2. Concentración de partículas totales en suspensión (PTS) en el Cercado de Lima Metropolitana (Junio - Diciembre, 1996)	128
9.3. Relación de las concentraciones promedio globales entre PTS y PLOMO	131

9.4. Hojas de Cálculo para la determinación de PTS y PLOMO por estaciones de muestreo del Cercado de Lima.....	132
9.4.1. Hoja de cálculos para la Av. abancay (E-1).....	133
9.4.2. Hoja de cálculos para la Plaza Grau (E-).....	134
9.4.3. Hoja de cálculos para la Av. Tacna (E-3).....	135
9.4.4. Hoja de cálculos para la Av. Uruguay (E-4).....	136
10. APÉNDICE.....	137
10.1. Índice de Tablas.....	137
10.2. Índice de Figuras.....	138

1. Introducción

A puertas de finalizar el presente siglo y asistiendo a los albores del tercer milenio hemos advertido con gran preocupación la alarmante contaminación de las ciudades afectando a millones de personas en todo el orbe, donde el incremento de la contaminación atmosférica se hace cada vez más incontrolable causando perturbaciones y malestar a los habitantes de las grandes metrópolis, como es el caso de la Gran Lima en el Perú, que tiene un crecimiento demográfico acelerado y un aumento caótico del parque automotor, factores potenciales que constituyen una fuente principal de contaminación.

Las fuentes de contaminación atmosférica en las ciudades son múltiples; de ellos, los automotores conforman una de las principales; los efluentes gaseosos y de material particulado son descargados principalmente por los tubos de escape de los vehículos y en dichos efluentes va uno de los contaminantes del aire más importantes: El Plomo, que bajo la forma de partículas es emitido al aire procedente de la combustión de las gasolinas con contenido de tetraetilo de Plomo (TEL), generalmente la gasolina de 84 y 95 OCTANOS o "ron" de mayor demanda en Lima.

La presencia del contaminante Plomo constituye uno de los principales problemas de las grandes ciudades del mundo; Lima Metropolitana, que abriga a más de la tercera parte de la población nacional con 6'405.712 habitantes y el 68% del parque automotor de toda la República está en camino a una situación similar. (INEI Y MTC, 1.995).

Frente a esta incertidumbre nos propusimos dar un aporte científico para conciliar el crecimiento y actividad de los habitantes con el mejor usufructo y conservación del patrimonio natural; realizando una evaluación de la Calidad del Aire en una zona representativa; en nuestro

estudio, el **Cercado de Lima Metropolitana**, a fin de proponer d ser necesario alternativas de solución para minimizar las perturbaciones en la salud humana y ambiental, a través de Programas de Control que sirvan para la mitigación de las fuentes contaminadoras.

Mediante esta investigación cuyo objetivo como se ha señalado es la evaluación y control del agente **Plomo en el Cercado de Lima**, considerado un riesgo potencial para la salud de la población y del medio ambiente; asimismo, hemos querido motivar a la opinión pública en general y a los entes gubernamentales e instituciones especializadas en medio ambiente en particular, a buscar conjuntamente las medidas adecuadas y más óptimas para mantener una mejor calidad del aire en nuestra ciudad capital.

La selección del Cercado de Lima Metropolitana como lugar de estudio, fue la resultante de muchos factores que influyen directa e indirectam nte en la contaminación del aire, tales como la alta migración de provincianos hacia la capital, la proliferación de vendedores ambulantes, las edificaciones altas y tugurizadas, así como el escaso número de pasos a desnivel, las deficiencias del servicio de semáforos y los frecuentes congestionamientos del tráfico vehicular; que sumados a las condiciones meteorológicas y topográficas del ámbito de estudio, son las causas que originan la contaminación atmosférica de la Gran Lima; y, particularmente la del **Distrito del Cercado**, estimando que sea de un grado mayor, .situación que obligaría a tomar acciones pertinentes para el control a corto, mediano y largo plazo de este problema ambiental de la ciudad capital.

2. Consideraciones generales

El rápido crecimiento industrial y de los programas de urbanización han dado lugar a cambios drásticos en el ambiente de las ciudades que tienden a colocar en serio peligro la salud y el bienestar de los habitantes.

En los últimos tiempos la lucha contra la contaminación ambiental ha cobrado una singular importancia y en nuestro medio parece que la estamos perdiendo por la insensatez del hombre que no puede encontrar el punto de equilibrio entre el desarrollo industrial y la ecología. El objetivo que nos hemos trazado con el presente estudio es alcanzar una coexistencia armoniosa entre las dos tendencias del mundo moderno para el logro de un desarrollo sostenido orientando los procesos productivos en una verdadera ecoindustria.

Durante las últimas dos décadas se ha avanzado en el conocimiento de los perjudiciales efectos sobre la salud humana por la exposición durante largo tiempo a bajas concentraciones de plomo en el ambiente, cuya determinación del riesgo que ocasiona este agente es un proceso estrictamente científico que parte desde la toma de muestras, su análisis químico para cuantificar su concentración y comparar el resultado obtenido con los límites máximos permisibles, establecidos en nuestro medio.

En el Perú, específicamente en la ciudad de Lima no existe un Control rutinario de plomo y otras trazas metálicas en el aire proveniente de la combustión de la gasolina con contenido de plomo; evidencias recientes han demostrado que no sólo la concentración y el tiempo de la exposición determinan el daño a la salud; sino también la edad a la cual ocurre dicha exposición.

2.1. Propiedades físicas y químicas del plomo

El plomo es un metal blando de color gris azulado o plateado. El plomo es pesado, maleable, dúctil, resistente a la corrosión y se encuentra en forma natural en la corteza terrestre de un modo relativamente abundante, en un promedio de 16 mg/Kg. A este metal se le obtiene a partir del mineral cuyo compuesto principal es la galena o sulfuro de plomo (PbS), la cerusita o carbonato de plomo (PbCO₃) y la anglesita (PbSO₄). La fundición de éstos minerales constituyen la producción primaria del plomo y al entrar en contacto con el aire se oxida recubriéndose de una capa de óxido, resistente a la corrosión de los ácidos, a excepción del ácido nítrico (HNO₃) que lo ataca fácilmente.

Las propiedades físico-químicas más importantes del elemento plomo se resumen en la Tabla N° 1.

Tabla N° 1. Propiedades físico-químicas del plomo

Nombre y Símbolo	Peso Molecular	Temperatura de fusión (°C)	Temperatura de ebullición (°C)	Electrones de valencia en su órbita	Gravedad Específica	Soluble en
Plomo (Pb)	207,19	327,502	1740	4	11,34	HNO ₃ , H ₂ SO ₄

La valencia usual del plomo es entonces +2, aunque presenta cuatro electrones en su capa de valencia, ionizándose fácilmente dos de estos; sin embargo una de las propiedades más importantes del plomo es su tetravalencia que forma el compuesto orgánico utilizado como aditivo antidetonante de la gasolina, el plomo tetraetílico (TEL).

Las sales inorgánicas del plomo (sulfuros y óxidos de plomo) son poco solubles, con la excepción del nitrato, el clorato y el cloruro. Algunas sales formadas con ácidos orgánicos (oxalato de plomo) son también insolubles.

El tetraetilo (TEL) y el tetrametilo (TML) de plomo son compuestos orgánicos muy conocidos de este metal, por su amplia utilización como aditivos antidetonantes de la gasolina. Estos compuestos son líquidos incoloros de una volatilidad inferior a la de la mayoría de los componentes de la gasolina. El punto de ebullición del tetrametilo de plomo es 110 °C y del tetraetilo 200 °C, a diferencia de las temperaturas de ebullición en los hidrocarburos de la gasolina que va de 20 a 200 °C; por lo tanto, la evaporación de la gasolina tiende a concentrar ambos derivados plúmbicos en el residuo líquido, que al combustionar son emitidos en forma de partículas a la atmósfera siendo eliminados a través de los tubos de escape de los automotores. Tanto el tetrametilo como el tetraetilo de plomo se descomponen a sus respectivas temperaturas de ebullición o a una temperatura algo inferior.

El análisis de los gases emitidos por el escape de los automotores pone de manifiesto que la proporción de tetraetilo aumenta a medida que se calienta el motor, lo cual demuestra que el tetrametilo es más termoestable que el tetraetilo.

El plomo según su abundancia relativa o tipo de decaimiento se clasifica en cuatro isótopos naturales, tal como se muestra en la Tabla N° 2.

Tabla N° 2. Propiedades generales del plomo

Símbolo del elemento	Numero Atómico (Z)	Peso Atómico (A)	Masa Atómica (uam)	Abundancia Relativa (%)
Pb	82	204	203,973069	1,48
Pb	82	206	205,974446	23,60
Pb	82	207	206,975898	22,60
Pb	82	208	207,976644	52,3

Este metal pesado se utiliza como agente antidetonante, en la gasolina, en forma de compuesto orgánico, el tetraetilplomo, con la finalidad de aumentar el OCTANAJE (“ron”) de las gasolinas; estos compuestos

orgánicos del plomo se mezclan con algunos hidrocarburos simples, clorados o bromados, antes de añadirse a la gasolina; aproximadamente del 70% al 80% es expulsado a la atmósfera en forma de partículas pequeñas que van de unas pocas centésimas a varios micrómetros (μm) de tamaño y del 20 al 30% restantes, la mitad es expulsada hacia el aceite de lubricación, y la otra mitad es retenida en el motor y el sistema de escape.

Se sabe que el compuesto de Plomo Tetraetilico (TEL) es tóxico, es importado de los Estados Unidos por las Refinerías y vienen en contenedores de 10 TM de peso bruto y 7,5 TM de peso neto; el manejo en la dosificación de cada tipo de gasolina que se va a preparar es realizado con sumo cuidado, evitando el contacto directo con esta sustancia peligrosa, realizándose esta dosificación mediante surtidores especiales instalados en los mismos tanques de almacenamiento del combustible a preparar, para su posterior distribución.

La historia del plomo se remonta al antiguo Egipto, donde se le usaba corrientemente para esmaltar los trabajos de alfarería, en Babilonia, la India, Roma. Los compuestos de plomo también servían para una variedad de aplicaciones domésticas, desde base para cosméticos, hasta metal básico para las cañerías de agua. En la actualidad con los avances en la tecnología, el uso de compuestos de plomo se extiende desde un aditivo para la gasolina, hasta un elemento esencial para acorazar dispositivos nucleares; también el plomo mezclado con el acero permite la fabricación de excelentes cojinetes. Como metal para soldar, la acción del plomo es vital para la industria eléctrica y electrónica. Se usan compuestos de plomo para fabricar pinturas y municiones. Los óxidos de plomo también se usan para las baterías de los automóviles

2.2. Efectos de la contaminación por plomo

El plomo es muy nocivo para la salud, es una neurotoxina que causa daños al sistema nervioso, cardiovascular y a los riñones. Provoca anemia, retarda el desarrollo físico y mental de los niños, causa daño en dosis muy pequeñas y en alta dosis produce la muerte.

El organismo, desafortunadamente puede absorber plomo por tres vías importantes, a saber: por inhalación, por ingestión y por absorción a través de la piel. El plomo es un elemento que actúa en forma liofilizada y se acumula con suma facilidad en el suelo, agua y vegetales. Cuando los animales se alimentan de vegetales contaminados también sufren su acción o efecto.

Se ha descrito una serie heterogénea de signos y síntomas generales e inespecíficos, tales como decaimiento, fatiga, dolores articulares, tos, impotencia sexual, palidez y temblor; las cuales, no obstante, deben tenerse en cuenta por su frecuente asociación con la intoxicación por plomo, o efectos tóxicos sistémicos; tales como anemia, cólico, síntomas polineurológicos, encefalopatías; y también los posibles efectos locales a nivel pulmonar.

En los experimentos por inhalación la dosis se calcula basándose en los valores de la concentración atmosférica, el tiempo de exposición y los factores pertinentes de depósito, retención y absorción de éste contaminante. Se sabe que el plomo afecta adversamente a todos los organismos, aunque todavía se carece de suficiente información al respecto. Las plantas que crecen en suelos contaminados por este elemento tienden a concentrarlo sobre todo en su sistema radicular.

La contaminación se ha atribuido principalmente al plomo atmosférico. sin embargo algunos animales, por ejemplo las lombrices de tierra, tienden a acumular plomo y pueden ser una de las rutas por las que este elemento entra a las cadenas alimenticias. En este caso, los demás eslabones serán los principales afectados. (Corey y Galvao, 1.989)

El plomo y sus componentes penetran en el organismo por inhalación e ingestión. La absorción por la piel tiene importancia solamente en el caso de los compuestos orgánicos (alquilos de plomo y naftenatos de plomo). se estima que la ingestión de plomo por la población general es de 100 $\mu\text{g}/\text{día}$ a 350 $\mu\text{g}/\text{día}$. Aunque las fuentes principales son los alimentos y el agua; hasta 20 μg pueden ser absorbidos por inhalación de vapor de plomo y partículas en los ambientes urbanos contaminados (Corey y Galvao, 1.989).

El riesgo para la salud derivado del plomo que existe en el aire se relaciona con el tamaño de las partículas. Las partículas de menos de 10 micras pueden ser retenidas en los pulmones, en tanto que las partículas mayores se depositan en las vías respiratorias altas desde donde, por acción del movimiento mucociliar, son transportadas hasta la nasofaringe.

Por término medio el 10 al 30% aproximadamente del plomo inhalado es absorbido a través de los pulmones y alrededor del 5 al 10% del plomo ingerido se absorbe por el tracto gastrointestinal. El vapor de plomo tetraetílico se absorbe bien por los pulmones (OMS Y OPS, 1.979).

El plomo absorbido es transportado por la sangre a otros órganos. Cerca del 95% del plomo que circula en la sangre está unido a los glóbulos rojos. Una fracción del plomo del plasma se halla en forma difusible, supuestamente en equilibrio con otros depósitos orgánicos de plomo, que pueden dividirse en dos tejidos duros (huesos, pelos, uñas, dientes) y

tejidos blandos (médula ósea, sistema nervioso, riñones, hígado). Se considera que sólo el plomo presente en los tejidos blandos es directamente tóxico. El plomo de los tejidos duros permanece estrechamente fijado a los tejidos y sólo es tóxico cuando la acumulación sirve como fuente de plomo para los tejidos blandos. Debido a la distribución del plomo entre los tejidos duros y los blandos, la semivida biológica de esta sustancia resulta difícil de determinar. Sin embargo, no hay duda de que se necesitan varios años para eliminar la mitad de la carga corporal de plomo (OMS y OPS, 1.979).

Los principales afectados por la exposición al plomo son los niños pequeños, las mujeres en gestación. El plomo afecta negativamente a todos los sistemas del cuerpo humano; y probablemente el efecto nocivo de mayor importancia, sea el decremento en la capacidad de aprendizaje y del desarrollo neurológico en niños pequeños. El plomo se deposita en los huesos durante toda la vida del individuo. La acumulación del plomo en el organismo, se libera dando lugar a los síntomas diversos; éstos se presentan a niveles menores de 50 microgramos por decilitro de concentración en la sangre.

Los síntomas de una exposición crónica al plomo, que constituye el saturnismo, incluyen alteraciones de la conducta, cólico, parálisis facial, anemia leve, inhibición de la función renal, arteriosclerosis, inhibición de la síntesis de la hemoglobina, bloqueo del ácido deshidrogenasa delta-amino-levulínico (AAL), aumento de la fragilidad de los glóbulos rojos, hemólisis, constipación, convulsiones, adormecimiento de las extremidades, hipertensión, calambres, degeneración de nervios y músculos, atrofia óptica, encefalopatía, esterilidad en ambos sexos, abortos, malformaciones, dolor de cabeza, visión borrosa, afasia o cambios neuronales. La intermitencia de los síntomas esta en relación al grado de

intoxicación, pudiendo desaparecer meses después de haberse suspendido la exposición a éste contaminante.

En casos de intoxicación aguda, debido a concentraciones altas, entre 30 y 90 microgramos por decilitro de sangre, los efectos son severos, tales como la gastroenteritis aguda, irritación de la faringe, dolor en el epigastro, vómito, diarrea y shock. En casos muy extremos o envenenamiento puede ocurrir hasta la muerte.

El plomo que llega a la parte baja del aparato respiratorio, aproximadamente del 35 al 50% pasa a la sangre y el resto se elimina. En este caso, la absorción depende de factores tales como: Tamaño y forma de la partícula inhalada, el ritmo respiratorio y las características intrínsecas del organismo del individuo o cuerpo receptor.

Se han llevado a cabo estudios que indican que por vía oral sólo es absorbido el 10%. No obstante, en niños este porcentaje es mucho mayor, ya que puede alcanzar hasta el 53% de la dosis ingerida.(OMS Y OPS,1.979).

2.3. Efectos de adición, sinérgico y antagónico del plomo

Cuando un elemento extraño se incorpora a un organismo o sistema ecológico, formando parte de él, e incrementa sus concentraciones hasta cantidades elevadas amenaza con exterminar el cuerpo receptor. Este mecanismo constituye la esencia de la contaminación de los ecosistemas o de sus componentes, por acción de los diversos agentes contaminantes que bien podrían llamarse factores ecológicos, capaces de incidir sobre un organismo.

Las interacciones generalmente ocurren cuando el hombre está expuesto a dos o más agentes químicos, resultando alteraciones de la toxicocinética y toxicodinámica que les son características, como es el caso del efecto aditivo o multiplicador que ocurre cuando la magnitud del efecto producido por dos o más agentes tóxicos es cuantitativamente igual a la suma de los efectos producidos individualmente. La acción aditiva del plomo y del arsénico afecta el aspecto biológico del ser.

El sinergismo, ocurre cuando el efecto de dos o más agentes tóxicos que se produce en forma combinada, es mayor que el efecto aditivo. El plomo provoca diversas alteraciones bioquímicas, todas ellas nocivas, y no existe prueba de que cumpla alguna función esencial en el organismo humano. El plomo tiene la capacidad de formar ligaduras covalentes, principalmente con átomos de azufre de moléculas biológicas y también con grupos amino (-NH₂) y carboxilo (-COOH). Así, este agente provoca alteraciones de la estructura terciaria de moléculas orgánicas, además de alterar y dañar funciones bioquímicas e interfiere en varias fases de la biosíntesis del hemo destacándose las inhibiciones del ácido δ -aminolevalínico deshidratasa (δ -ALA-D), hemosintetasa y probablemente de la coproporfirinógeno descarboxilasa. En consecuencia, después de estas interferencias, se tiene: aumento de excreción urinaria del ácido δ -aminolevalínico (δ -ALA-U), aumento de excreción urinaria de coproporfirina (COPRO-U), aumento de los niveles eritrocitarios de protoporfirina libre (PEL). Estas alteraciones se utilizan como indicador biológico de exposición. (Veracruz-Coatzacoalcos, 1.980).

El antagonismo, ocurre cuando el efecto producido por dos agentes tóxicos es menor que el efecto aditivo, uno reduce el efecto del otro. Existen varios tipos de antagonismo: Competitivo, químico, no competitivo y funcional. Por ejemplo la acción del plomo y del cinc sobre

la actividad enzimática del ácido aminol vulínico deshidratasa (-ALA-D), en la biosíntesis del hemo.

Finalmente, podemos afirmar que el agente químico plomo como contaminante y mediante ciertos mecanismos de acción como la absorción y la distribución en el organismo presenta efectos de adición, sinergismo y antagonismo, como la gran mayoría de sustancias tóxicas. Por ejemplo cuando el plomo reacciona con un compuesto orgánico proveniente de los hidrocarburos como el metano forma otra sustancia con efectos más tóxicos, aquí se da el sinergismo; asimismo el plomo al reaccionar con los iones sulfato que se encuentran en el aire forman los sulfatos de plomo cuyo efecto es menor, lo cual constituye un efecto antagónico.

2.4. Antecedentes de la contaminación de plomo en el Perú

La contaminación por plomo en el Perú comienza básicamente con el crecimiento acelerado del parque automotor, siendo la capital de la República la de mayor incidencia de contaminación por este parámetro; las actividades industriales y minero-metalúrgicas como fuentes fijas de contaminación también tienen su aporte a esta problemática medioambiental, aunque no necesariamente por el parámetro plomo.

En el Perú son escasos los estudios realizados acerca del plomo como contaminante del aire, sin embargo el Instituto de Salud Ocupacional ha llevado a cabo estudios de este tipo en Lima y en ciudades de actividad minera donde se evaluaron en principio los niveles de exposición de los trabajadores a este agente, con un criterio de higiene industrial habiéndose también determinado la calidad del aire en la ciudad capital (Gastañaga, 1.962-63) y en la ciudad de La Oroya (Ruiz, 1.963-64), evaluándose en la ciudad como en comunidades aledañas el Plomo.

Existen también algunos estudios realizados por Healty and Safety Laboratory (HASL) de los Estados Unidos de Norte América acerca del plomo en el aire de diversas ciudades americanas en 1.963 entre ellas el Perú.

Entre los años 1.975 a 1.978, en el Perú mediante el documento oficial de "Lineamientos y Acciones de Política del Sector Salud" se establecieron: preservar y controlar el ambiente físico, efectuar el inventario de fuentes fijas y móviles de contaminación ambiental y conseguir la disminución gradual de los aditivos antidetonantes (TEL) a la gasolina.(MTC, 1.996)

Asimismo existe un estudio realizado en los Laboratorios del Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN) como parte de un programa orientado al conocimiento y control rutinario del plomo proveniente de los combustibles vehiculares en el aire que fue realizada en la ciudad de Lima (HASL, 1.974).

En la Conferencia Hábitat II de las Naciones Unidas, realizada en Estambul en 1.996, Lima fue incluida entre las diez ciudades en el mundo de mayores concentraciones de plomo en el aire presentado por el Proyecto de Transporte Urbano para el Área Metropolitana de Lima y Callao.(MTC, 1.996).

La contaminación por plomo, por el empleo del plomo tetraetilico en la gasolina que usan los automotores constituye la base de este problema que se agrava debido a otros factores indirectos como la circulación de vehículos en mal estado debido a su antigüedad, el desordenado tránsito vehicular, los congestionamientos; etc.

En la actualidad se advierte que los sectores involucrados en esta problemática de contaminación ambiental muestran cierta preocupación y

tienden a realizar un control rutinario sobre las emisiones y por ende las inmisiones.

A continuación en la Tabla N° 3, se presenta un compendio resumen de los principales Estudios realizados en el Perú.

Tabla N° 3 Compendio de estudios de plomo en el Perú

Año	Lugar	Estudio	Conclusiones	Observ.
1.997	Lima	Emisiones del parque automotor (MTC,1.997)	Las emisiones producidas por el parque automotor de Lima alcanza aproximadamente el valor de 4,8 toneladas de plomo tetraetílico por año	Gases y polvos de emisión
1.996	Arequipa	Muestreo en 14 puntos de control de la ciudad blanca (DIGESA,1.996)	Los valores de plomo oscilaron entre 0,095 y 0,664 ug/m ³ el 18 % de los puntos de muestreo mostró valores por encima de los limites aceptables	Limite Máximo Permisib. 0,5 µg/m ³
1.974	Lima	Programa de muestreo en el Aeropuerto Internacional Jorge Chávez(HASL,1.974)	El promedio de los resultados mensuales alcanzó 0,63 ug/m ³ de plomo	L.M.P: 2,0 µg/m ³
1.974	Lima	Plomo en el Aire (HASL,1.974)	Los valores promedio de plomo encontrados en Monterrico, Jesús María, Lince, Centro Lima y San Miguel, fue de 0,59; 1,00; 0,65; 1,98 y 0,25 ug/m ³ .	L.M.P: 2,0 µg/m ³
1.972	Lima	Convenio Hipólito Unanue	La intoxicación profesional en las fábricas de baterías es un 23 % de los grupos estudiados	-
1.963	La Oroya	Contaminación Atmosférica (INSO,1.963)	En la ciudad de La Oroya se obtuvo una concentración de 4,4 ug/m ³ de plomo	L.M.P. 2,0 µg/m ³
1.962/ 1.963	Lima	Contaminación Atmosférica (INSO, 1.963)	En la Gran Lima se obtuvo 0.35 ug/m ³	Límite Máximo Permisib 2,0 µg/m ³
1.969	La Oroya	Contaminación Atmosférica (INSO, 1.969)	Comunidades aledañas a La Oroya y se encontró 3,3 µg/m ³ de Plomo en el aire	L.M.P. 2,0 µg/m ³

2.5. Fuentes de emisión de plomo

La fuente importante de contaminación por plomo en la ciudad capital es básicamente el transporte automotor que está constituido por un parque automotor con una antigüedad promedio de 15 años. La exagerada sobreoferta del transporte público para satisfacer la demanda de la población ha conducido a un fuerte crecimiento del número de automotores llegando a 636.864 unidades en 1.996

Existen otras fuentes generadoras de plomo como son las fábricas de baterías, pinturas e instalaciones de fundición que están involucrados en menor medida en la contaminación atmosférica de la ciudad capital por constituir una fuente fija de tamaño no significativo.

La contaminación urbana por plomo se debe básicamente a los derivados alquílicos de este metal utilizados como aditivos de los combustibles usados por la mayoría de los automotores principalmente la gasolina de 84 y 95 octanos con contenido de tetraetilo de plomo (TEL). El uso de este aditivo aumentó de manera constante hasta 1.973 año en que el consumo mundial de plomo refinado para la fabricación de TEL fue de unas 380.000 toneladas. (Apoyo Consultores S.A., 1.996).

La importancia de la combustión de estos compuestos del plomo es excepcionalmente elevada y se ha estimado que la cantidad de plomo emitido en todo el mundo por esta vía es muy grande, por ejemplo en USA en el año 1.973 fue de 266.000 toneladas y de 210.000 toneladas en 1.975, donde el 20 % del plomo total que se consume se destina a la producción de TEL (Alconsul, 1.996).

Numerosos artículos que contienen plomo y están sujetos a la acción de la intemperie o a la descomposición con el transcurrir del tiempo; estos

también constituyen fuentes de contaminación atmosférica por este parámetro cuya cuantificación es compleja.

Actualmente se ofertan en el Perú cuatro tipos de gasolina dos de ellas son plomadas (Gasolina de 84 y 95 octanos) y dos no contienen plomo (Gasolina de 90 y 97 octanos) cuyo consumo se muestra en la Tabla N° 4 El mayor consumo está dado por la gasolina de 84 que es requerida por automóviles de baja relación de compresión y alta antigüedad relativa; por el empleo del plomo en la gasolina se vierte a la atmósfera aproximadamente unos 1.200 TM/año de tetraetilo de plomo (TEL) siendo el consumo de gasolina con plomo el 74,6 % de la demanda total a nivel nacional. (MEM, 1.995).

Tabla N°4. Consumo de gasolina del parque automotor nacional

Gasolina	Miles de Barriles/día	(%)
97	3,0	10,7
95	1,7	6,0
90	4,1	13,7
84	19,2	68,6
Total	28,0	100,0

Fuente: PETROPERÚ, 1.994

Estos combustibles son producidos principalmente por las Refinerías de La Pampilla y Talara; otras Refinerías participan en menor grado en la producción como la Conchán (Lima), Iquitos, El Milagro (Bagua-Amazonas) y Pucallpa (Maple Gas Corp.):

No existen regulaciones específicas sobre el número de grado que se ofertan al mercado y los límites del plomo tetraetílico (TEL) expresado en mililitros por galón, las mismas están por encima de los empleados en otros países, inclusive con el retiro total de este aditivo en algunos países como una medida óptima de control de la contaminación del aire por este parámetro. El contenido de plomo también en la gasolina se presenta en la

Tabla N° 5, donde se señala una de sus características físicas más resaltantes, así como su dosificación en ml/galón o cc/galón, dependiendo el tipo de gasolina que se quiera producir.

Tabla N° 5 Características generales de la gasolina

Especificaciones	Observaciones	Gasolina 84	Gasolina 90	Gasolina 95	Gasolina 97
Color	-	Amarillo	Violeta	Azul	Incolora
Plomo (ml/gal)	máxima	4	0,013	4	0,013

Fuente: PETROPERU, 1.997

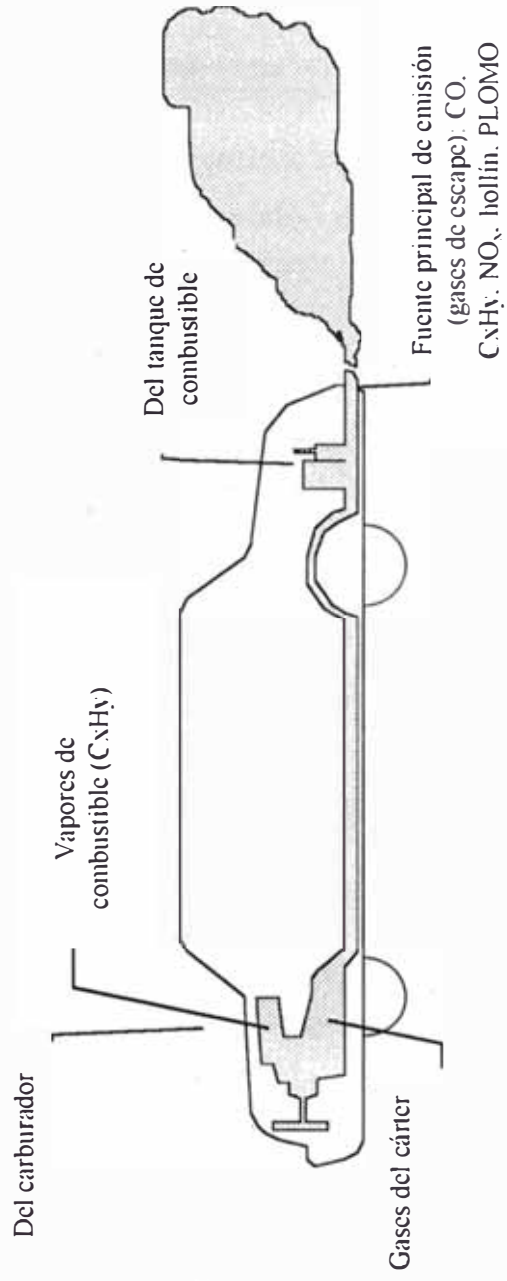
Para la producción de la gasolina de 84 Octanos, se mezcla la gasolina base (50 Octanos) con Nafta craqueada (90 Octanos), cuya mezcla resulta ser de una gasolina de 72 Octanos, y a esta mezcla se le añade 4 cc/gal. de plomo tetraetílico (TEL), obteniéndose la gasolina de 84 Octanos, de mayor consumo en el parque automotor en Lima y a nivel nacional; asimismo para la preparación de la gasolina de 95 Octanos, se mezclan la Nafta craqueada o gasolina ecológica de 90 Octanos con 4 cc/gal. de TEL.

Las gasolinas de 90 y 97 Octanos (“ron”) en su preparado no se les añade el TEL; su diferencia con las gasolinas plomadas, reside en la calidad de refinación, tal es el caso de la gasolina de 90, que proviene de la Unidad de Craqueo Catalítico y la gasolina de 97 resulta de adicionar a la gasolina de 90 Octanos el Metil Ter Butil Éter (MTBE) que es un aditivo que posee 100 Octanos o “ron”.

De otra parte, en la Figura N° 1 se muestra una fuente principal de contaminación atmosférica, donde se aprecia un automotor con sus partes generadoras de diversos agentes contaminantes.

Figura N° 1

Fuente principal de contaminación atmosférica



Las condiciones de operación de un automotor como el mostrado, con motor de combustión interna, tienen gran importancia en la contaminación del atmosférica y está caracterizado por la relación aire-combustible que conduce a la generación de emisiones gaseosas y particuladas; esta correlación se presenta en la Tabla N° 6.

Tabla N°6 Condiciones de operación, su relación entre el aire y la generación de gases de emisión de los automotores

Condiciones de operación del motor	Relación entre Aire:Combustible	Gases Emitidos (pies ³ /minuto)
En mínimo	11:1 - 12,5:1	6 - 8
Marcha a velocidad constante (45-80Km/hr)	13:1 - 15:1	25 - 50
Aceleración, tobera del carburador abierta	11,5:1 - 13:1	90 - 125
Aceleración, tobera del carburador parcialmente abierta	12,5:1 - 14:1	50 - 90
Desaceleración	11:1 - 12,5:1	6 - 8

Los motores de explosión emplean una mezcla gasificada de gasolina y aire, la misma que se efectúa en el carburador y que luego se somete a compresión e ignición, por acción de una chispa eléctrica, produciéndose la explosión que genera anhídrido carbónico y agua, además de pequeñas cantidades de compuestos resultantes de las reacciones con el oxígeno y nitrógeno del aire, y productos debidos a la combustión incompleta, el principal de los cuales es el monóxido de carbono acompañado por la emisión de otros gases de combustión y sustancias particuladas como el plomo.

Una combustión completa requiere de 15 libras de aire por cada libra de gasolina generalmente. Las mezclas de "aire-combustible" deben estar en una proporción que fluctúan entre 12 y 15 libras de aire por una de gasolina, para garantizar un buen rendimiento del motor.

2.5.1. Parque automotor

Haciendo una breve reseña histórica de ésta fuente de contaminación móvil podemos mencionar que hasta 1.962 habian 185.225 vehículos motorizados en todo el Perú, de los cuales el 62,5% de éste parque automotor pertenecía a la Gran Lima es decir 115,723 vehículos que ya constituían un problema de contaminación atmosférica en ese entonces. El incremento del parque automotor entre 1.941 y 1.962 fue del orden de 531,6%. Se estimó que en 1.980 habían 300.000 vehículos circulantes en Lima, durante la década del 80 al 90, se importaron 24.000 vehículos usados y en 1.994 ingresaron 34.000 vehículos usados y sólo 19.000 vehículos nuevos.

Actualmente los motores de combustión interna consumen cerca del 85% de la energía que se produce en la tierra, de los cuales los automotores constituyen la mayor parte. Los gases de escape que contienen sustancias tóxicas representan uno de los factores más peligrosos de polución del medio ambiente. Se estima que en 1.985 los motores de combustión interna utilizaron más de un billón de toneladas de oxígeno y expulsaron a la atmósfera millones de toneladas de partículas finas respirables, con alto contenido de metales pesados, especialmente partículas de plomo.(Patrakhalshev y Gorbunov, 1.993). En la Tabla N° 7 se muestra la tendencia de crecimiento del parque automotor en el quinquenio 90 y 95.

**Tabla N°7. Parque automotor nacional estimado según clase de
vehículo 1990 - 1995**

Clase vehículos	1.990	1.991	1.992	1.993	1.994	1.995
Total	605.550	623.947	672.957	707.437	760.810	862.589
Nacional						
Automóviles	324.440	333.730	352.912	367.461	389.439	441.005
Station Wagon	43.715	45.331	49.439	51.187	54.732	64.761
Cmta. Pick-Up	99.733	102.823	106.672	111.001	117.515	126.102
Cmta. Rural	30.702	33.524	47.111	55.595	67.060	81.844
Cmta. Panel	8.564	8.751	9.183	9.516	10.178	10.876
Ómnibus	20.605	21.239	27.270	30.625	35.124	41.003
Camión	66.567	66.612	67.648	68.357	71.312	79.046
Remolque	5.036	5.472	5.902	6.414	7.359	8.950
Remolque y Semi remolque	6.188	6.465	6.820	7.281	8.091	9.002

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 1.996

En la Tabla N° 8 se muestra el parque automotor estimado en **Lima Metropolitana para 1.996** con su distribución porcentual y las bajas de unidades por cada marca de vehículo, respectivamente.

Tabla N°8. Parque automotor estimado en Lima 1.996

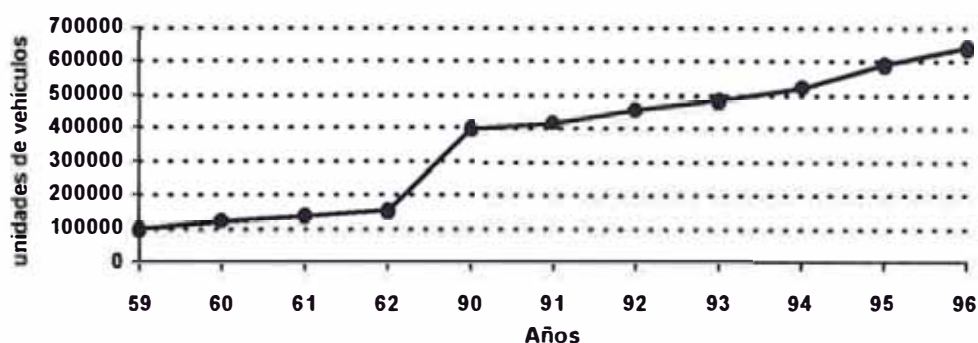
Tipos de Vehículo	Parque 1.995	Tasa de Baja	Inscrip. Vehicular 1.996	Vehículos de Baja	Parque 1.996
TOTAL	588.072	-	59.820	11.028	636.864
Automóviles	338.874	1.681	36.312	5.696	369.490
Station Wagon	49.060	1.681	6.785	825	55.020
Cmta. Pick-Up	62.119	2.252	6.267	1.399	66.987
Cmta. Rural	56.713	2.252	4.045	1.277	59.481
Cmta. Panel	8.867	2.252	456	200	9.123
Ómnibus	28.209	2.252	1.791	635	29.365
Camión	34.560	2.252	3.016	778	36.798
Remolque	4.962	2.252	573	112	5.423
Remolque y Semi remolq.	4.708	2.252	575	106	5.117

Fuente: Ministerio de Transportes, 1.997

Del análisis de la Tabla N° 7 y la Figura N° 2 podemos colegir que la tasa promedio de crecimiento fue de 42 % en 6 años referido al parque automotor nacional. La mayor parte del parque automotor está constituido por vehículos con una antigüedad superior a los 10 años, éste factor favorece el incremento de las emisiones.

En el 95 el parque automotor a nivel nacional ascendió a 823.500 vehículos de los cuales el 71,4% pertenece a la Gran Lima, ingresando al Perú alrededor de 70.000 autos usados (Apoyo Consultores, 1.995).

Figura N° 2 Crecimiento del parque automotor en Lima Metropolitana



Como una información valiosa adicionalmente se muestra en la Tabla N° 9 la relación de los habitantes por vehículo para los años 93 y 94 en Lima.

Tabla N° 9 Habitantes por Vehículo en la Gran Lima Metropolitana

Año	Número de vehículo	Habitantes por vehículo
1993	482.573	13,20
1994	521.049	12,50

Fuente: Apoyo Consultoría S.A., 1.995

La distribución porcentual del parque automotor según los combustibles utilizados son mostrados en la Tabla N° 10, en ella se aprecia que la gasolina es consumida por el 80,32% de los automotores frente al 9,10% de unidades que utilizan petróleo, de lo cual podemos inferir que esto constituye un verdadero foco generador de contaminación por plomo.

Tabla N°10. Distribución porcentual de automotores en función al tipo de combustible utilizado

Tipo de combustible	N° de Unidades (%)
Gasolina	80,32
Petróleo	9,10
G.L.P.	0,53
Otros (GSL/GASP, BENCINA)	0,05
TOTAL	100,00

Fuente: PETROPERU, 1.997

La antigüedad del parque automotor peruano y su implicancia en la contaminación ambiental, tienen una pesada carga, donde desplazarse en automóvil ha pasado de una situación de privilegio a ser un fenómeno social muy serio. En la Tabla N° 11 se muestra la antigüedad del parque automotor.

Tabla N°11. Antigüedad del parque automotor 1996

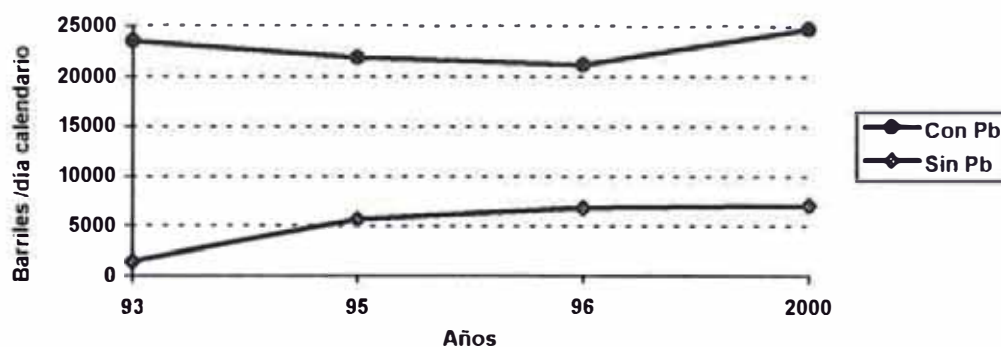
Años de antigüedad	N° de Unidades	(%)
Más de 03 años	707.437	75,5
Más de 08 años	616.578	65,8
Más de 10 años	603.741	64,5
Más de 16 años	521.970	55,7
Total	936.411	100,0

Fuente: Ministerio de Transportes, 1.997.

De esta presentación podemos apreciar que el 64,5% del parque automotor lo integran unidades con una antigüedad mayor a los 10 años.

La Figura N° 3 representa mediante una poligonal el consumo de gasolina con plomo y sin plomo por el parque automotor nacional con una proyección al año 2.000, donde se aprecia que entre los años 93 y 96 ha decrecido el consumo de gasolina con plomo y un incremento ligero del consumo de gasolina sin plomo.

Figura N°3 Consumo de gasolina con plomo y sin plomo del parque automotor en el Perú



Fuente : Alconsult International Ltd.: "Estudio concerniente a la eliminación de la gasolina con plomo (Pb) en América Latina y el Caribe.

El grado de contaminación del área de estudio depende en gran medida del consumo del tipo de combustible del parque automotor; presentándose la distribución porcentual del consumo de dos tipos de combustible más comunes por tipo de automotor para el año 1995 en la Tabla N° 12 aquí se aprecia que los automóviles y a las camionetas son los principales consumidores de la gasolina, en tanto que el petróleo es generalmente utilizado por ómnibus y camiones.

Tabla N°12. Cuadro estadístico porcentual vehículos por tipo de combustible en Lima: año 1.995

Tipo de vehículo	Total	Gasolina (%)	Petróleo (%)
Automóvil	100	98,84	1,16
Station Wagon	100	95,06	4,94
Camioneta Pick up	100	94,41	5,59
Camioneta Rural	100	52,29	47,71
Camioneta Panel	100	86,48	13,52
Ómnibus	100	15,60	84,40
Camión	100	53,62	46,38
Remolcador	100	4,16	95,84

Fuente: Ministerio de Transportes, 1.996

2.5.2. Industrias minero - metalúrgicas

El Consejo de Europa indica que los procesos industriales de mayor impacto ambiental negativo lo constituye la actividad minero-metalúrgica causando una perturbación de la calidad del aire. Una serie de procesos unitarios siderúrgicos son muy reconocidos y ponderados por su aporte a la economía, pero en relación a la problemática medioambiental, en los últimos decenios es acusada como causante principal de la polución atmosférica.

En la producción de plomo, cinc y cobre, aparte de los procesos de combustión, en los que las emisiones de contaminantes dependen del combustible utilizado, los procesos más contaminantes son el tratamiento mineral y la fusión, en los que se producen SO_2 , CO_2 , CO y partículas sólidas metálicas. Las emisiones de una industria siderúrgica afectan altamente a la atmósfera.

Para refinar plomo sólo se cuenta con la Planta de La Oroya con una capacidad para producir 87 mil TM./año de plomo refinado. En la actualidad se refina alrededor del 40 % del total de la producción minera (200 mil TMF/año).

La ciudad de La Oroya como principal centro metalúrgico del Perú, sufre las consecuencias de una contaminación del aire que sobrepasa los estándares internacionales de calidad del aire.

2.5.3. Fábrica de pinturas

Esta actividad industrial durante mucho tiempo viene empleando los óxidos y los carbonatos de plomo muy ampliamente como pigmentos. Por su alta solubilidad, el plomo contenido en dichos compuestos puede ser fácilmente asimilado por el organismo humano (lo cual se conoce

como biodisponibilidad). Debido a ello, en la década de los sesenta la industria eliminó el uso de estos compuestos en los Estados Unidos y en los países Europeos como parte de una medida de control de contaminación ambiental.

La tendencia internacional apunta hacia límites muy estrictos del contenido de plomo en cualquiera de sus formas en las pinturas, pigmentos, barnices y tintas, en especial cuando se aplican en productos de consumo con una alta probabilidad de ser tocados, chupados o mordidos por niños pequeños. entre estas aplicaciones se encuentran la pintura para casas, juguetes, lápices de colores infantiles, entre otros.

Los cromatos de plomo son los componentes de los pigmentos para la pintura, cuyas características son un polvo de color amarillo-anaranjado o amarillo-verdoso. El amarillo de cromo contiene 52-98 % de cromato de plomo. Este pigmento se utiliza en pigmentos de uso industrial y pigmentos para hules y plásticos. Su uso se ha reportado en pinturas en base solvente y base agua, decoración de porcelana y en tintas para impresión.

La industria de las pinturas emplea con frecuencia los cromatos de plomo, porque sus costos son bajos trayendo consigo un beneficio económico para el industrial, asimismo la resistencia a los solventes y a la luz solar, estabilidad al horneado, altas capacidad de cobertura y un amplio intervalo de colores, desde el verde matizado con amarillo hasta el rojo matizado con naranja.

En la Tabla N° 13 se muestran algunas fábricas de pintura que están involucrados en menor o mayor grado en la contaminación del aire de Lima Cercado, especialmente aquellas que se encuentran dentro del radio

de influencia del ámbito de estudio aunque estas emisiones son difíciles de cuantificarlos.

2.5.4. Fábricas de baterías

La industria de las baterías o acumuladores es la rama que consume gran cantidad de plomo como materia prima. Esta industria utiliza plomo metálico en forma de una aleación de plomo y antimonio, y óxidos de plomo en proporciones aproximadamente iguales; siendo utilizado el plomo metálico en las rejillas y bornes de las baterías, en tanto que los óxidos, el litergirio (PbO), el rojo de plomo (Pb_3O_4) y el óxido gris (PbO_2), se usan en el material activo que se empasta sobre las placas.

La industria de acumuladores es, además, la fuente principal de plomo para la producción de plomo secundario. Se ha estimado que se recupera mediante fundición hasta el 80% del plomo de los acumuladores. Este proceso de reciclaje del plomo constituye una fuente altamente peligrosa de contaminación del aire mediante partículas muy finas o suspendidas, así como sedimentables, que se depositan en los sembríos o pastizales con efectos dramáticos en la ganadería.

La Tabla N° 13 nos muestra también la existencia de algunas fábricas de baterías que de una u otra forma también coadyuvan en polución del aire de la zona urbana con mayor incidencia en los lugares del entorno a dichas fábricas.

Tabla N°13. Principales industrias potencialmente emisoras de plomo a la atmósfera ubicadas en el radio de influencia de la red de estaciones de muestreo

Razón Social de la Industria	Giro	Dirección
Capsa (*)	Fáb. de Baterías	Av. 28 de Julio 599- Lima
Reed	Fáb. de Baterías	Urb. La Milla
Récord	Fáb. de Baterías	San Luis
Pintel s.a.(**)	Fáb. de Pinturas	Jr. Velasco Alvarado 151-Lima
Fast(*)	Fáb. de Pinturas	Av. Universitaria 340-Lima
CPPQ S.A.(**)	Fáb. de Pinturas	Jr. Chamaya 276-Breña
Mac.chemical(*)	Fáb. de Pinturas	Av. Universitaria 636-Lima
Vencedor(**)	Fáb. de Pinturas	Manuel del Mar y Bernedo 1015-Lima
Sur S.A.(**)	Fáb. de Pinturas	Psje.Iberico 1831-Breña
TitanaS.A..(**)	Fáb. de Pinturas	Jr. Pomabamba 702-Breña
Paracas(*)	Fáb. de Pinturas	Av. Argentina 2963-Lima
Sherwin willians	Fáb. de Pinturas	Av. Universitaria 340-Lima
Cia. Industrial N-4 (*)	Fundición	Jr. Lampa 1115-Lima
Fumasa (*)	Fundición	Av. Nicolás Dueñas 420-Lima
Cárdenas (*)	Fundición	Jr. Cutervo 1829-Lima
Fumosa(*)	Fundición	Av. Tingo María 1375-Breña
MEPSA(*)	Fundición	Jr. Plácido Jiménez 1011 -Lima
Fundicion central S.A. (**)	Fundición	Ate-Vitarte

(*) El radio de influencia de una estación de monitoreo es de 1,5 km.

(**) Estas fábricas se encuentran en el límite del radio de influencia o cerca de éstas (red de muestreo)

2.6. Estudios de Plomo en el mundo

A manera referencial, en la Tabla N° 14 se presenta un compendio resumen de estudios relacionados al contaminante plomo en el mundo.

Tabla N° 14 Compendio de Estudios de Plomo en el mundo

Año	Lugar	Estudio	Conclusiones
1.996	América Latina y el Caribe	Eliminación de la gasolina con plomo (OEA-USA ,1.996)	Argentina, Belice, Costa Rica, El Salvador, Honduras y Nicaragua planean tener un mercado del 10% de gasolina sin plomo
1.996	América Latina y el Caribe	Eliminación de la gasolina con plomo en América Latina y el Caribe	Dieciocho países planean lograr el 10 % de la gasolina sin plomo entre el 2.000 y el 2.009, entre estos se encuentra el Perú
1.995	América Latina y el Caribe	Eliminación de la gasolina con plomo en América Latina y el Caribe	Antigua, Permuta, Bolivia, Brasil, Colombia y Guatemala alcanzaron el 100% de uso de gasolina sin plomo
1.994	América Latina y el Caribe	Plan de acción para el desarrollo sostenible en las Américas	Los gobernantes de 34 países se reunieron para formar una Asociación para el Desarrollo y la Prosperidad
1.992	Uruguay	Toxicología e Higiene mental	Los niveles de plomo en la sangre para personas no expuestas fueron de 10,5 ug/dl
1.986	México	Valores límites de exposición al plomo	1,5 ug/m ³ como promedio aritmético en tres meses y se redujo el plomo en la gasolina de 0,9 a 0,09 g/l
1.985	Estados Unidos	Concentraciones de plomo en la sangre y la alta presión sanguínea	Reglamentación del contenido de plomo en la bencina (0,1 g/gal)
1.983	USA	Plomo en la sangre	El plomo reduce la inteligencia de los niños
1.982	USA	Programa de revisión de plomo	Reducción drástica de plomo de la gasolina
1.980	Estados Unidos	El plomo en el medio ambiente humano	Detrimento biológico en niños
1.979	Reino Unido	Epidemiología sobre el plomo	La duplicación de 10 a 20 ug/dl de plomo en la sangre baja de 1 a 2 puntos el coeficiente intelectual de los niños
1.962	Medellin-Colombia	Muestreo en una Fábrica de baterías	El 42 % de los trabajadores presentan plumbemia

En este compendio se aprecia que en la actualidad los países del orbe muestran su preocupación por controlar la causa fundamental de la contaminación del aire por el agente plomo; desarrollando programas conjuntos para la **eliminación paulatina del Plomo de las gasolinas.**

3. Límite máximo permisible de Plomo para la calidad del aire

La relación dosis-reacción de un agente contaminante es un criterio valedero para la determinación de los límites máximos permisibles en higiene industrial tomando en consideración importantes factores, así como la reacción biológica que produce todo agente, dependiendo este efecto de la concentración del contaminante, el tiempo de exposición y la susceptibilidad de la persona o cuerpo receptor, frente al agente.

Los patrones o standard de todas las Normas de Calidad del Aire están referidas a condiciones normales de 25 °C y 760 mm de Hg de presión barométrica; y deben ser expresadas en términos de masa por unidad de volumen, utilizando las unidades del sistema c.g.s.; y en caso de utilizarse la expresión “partes por millón en volumen” o “ppm”, para obtener la concentración gravimétrica en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a condiciones normales, se aplicará una fórmula de conversión.

Estos criterios han servido de base para establecer y definir los límites máximos permisibles de un agente contaminante del aire, en general y para el **Plomo** en particular.

La Reglamentación de los límites o estándares de un contaminante, varía para cada país o realidad; aunque los países en vías de desarrollo suelen tomar como niveles referenciales los patrones o estándares internacionales de la calidad del aire, que rigen en los países más desarrollados, lo cual no es una buena práctica, ya que cada país es una realidad distinta y sus habitantes poseen otra sensibilidad frente a un agente contaminador.

3.1. Límites máximos permisibles de Plomo en el Perú.

En el Perú las Normas de Calidad del Aire propuesta por la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA) son muy amplias y poco precisas; por ejemplo no hay patrones propuestos para la fracción respirable de partículas y sus contenidos de Plomo.

Para superar este impase, el Ministerio de Salud mediante DIGESA viene utilizando como normas las basadas en recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS), siendo para el caso del Plomo la referencia del **límite permisible de Plomo** para la Calidad del Aire lo siguiente:

- **Media Aritmética Anual:** $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- **Media Aritmética Mensual:** $1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Para el presente Estudio hemos aplicado el primero, es decir 0,5 microgramos de plomo por metro cúbico de aire para una media anual.

Este valor es el promedio aritmético anual, es decir que los niveles de la concentración de Plomo en el aire no deben exceder a este valor durante un año; cabe también mencionar que $1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ es para una exposición más corta de 24 horas.

3.2. Límites máximos permisibles de Plomo en otros países

Los niveles de Calidad del Aire en otros países están también de acuerdo con las recomendaciones de la Agencia Internacional del Sistema de las Naciones Unidas, los Gobiernos deben establecer y mantener en continua revisión sus propias Normas Nacionales de Salubridad del Aire, teniendo como objetivo primordial la protección de la salud, además se debe tener

en cuenta los efectos sobre el clima, la flora y la fauna , así como los distintos materiales y la calidad estética del medio ambiente.

A continuación se presenta los Niveles de Calidad del Aire en ciertos países:

- Estados Unidos: $1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Trimestral)
- Italia: $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (24 Horas)
- Checoslovaquia: $0,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (24 Horas)

4. Planeamiento y ejecución del Estudio

Para la evaluación de plomo en el Cercado de Lima se instalaron estaciones de muestreo en zonas representativas de la ciudad. Para el desarrollo de esta investigación durante 03 meses se hicieron las coordinaciones pertinentes con instituciones públicas y privadas con el objeto de fijar las estaciones y solicitar información referente al Tema de Tesis, así como el requerimiento de equipos y laboratorios de análisis.

El muestreo del aire en las estaciones se realizó mediante dos equipos captadores de partículas llamados Hi Vol (alto volumen) para luego determinar la concentración de plomo en el aire de esta zona urbana de la Gran Lima Metropolitana.

Las características básicas del presente Estudio es su originalidad, importancia, dificultad, costo en su realización entre otros; más frente a la creciente problemática de la Contaminación Atmosférica de Lima Metropolitana, principalmente a causa de la fuente móvil (parque automotor) surge la imperiosa necesidad de su ejecución.

Una de las instituciones públicas que nos brindó todo el apoyo requerido fue la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA) perteneciente al Ministerio de Salud donde se nos brindó la facilidad de equipos para la toma de muestras y las instalaciones de sus laboratorios para los análisis de las muestras de campo; asimismo las referencias bibliográficas fueron obtenidas en diversas Universidades e Instituciones, especializadas en Estudios de Medio Ambiente.

4.1. Selección del ámbito de muestreo

Se selecciono una zona representativa y crítica de la Gran Lima Metropolitana , específicamente el Cercado donde se ubicaron cuatro

estaciones de muestreo con características similares con alta frecuencia del tránsito vehicular, edificaciones altas, rodeadas de una zona comercial y residencial donde convergen factores directos e indirectos de contaminación ambiental.

Según el Instituto Geográfico Nacional nos indican que el Cercado de Lima se encuentra ubicado a 154 m.s.n.m. cuyas coordenadas geográficas son: Latitud Sur = 12° 02' 36" y Longitud Oeste = 77° 01' 42".(Atlas, 1.989).

El ámbito de estudio estuvo delimitado por las principales vías del Cercado como la Av. Abancay, Av. Grau, Av. Alfonso Ugarte, Av. Tacna y el Malecón Rímac. Ver Plano de ubicación (Figura N° 4). Los resultados obtenidos en esta zona son extrapolables a otros lugares de características similares

4.2. Ubicación y características de las estaciones de muestreo

Para la ubicación de las estaciones de muestreo se aplicaron también criterios de dispersión donde se combinaron las condiciones meteorológicas y topográficas con las emisiones del parque automotor.

El número de estaciones de muestreo seleccionadas y su ubicación se han basado en criterios, objetivos y procedimientos convincentes, siguiendo una metodología elemental, tales como la dispersión de las emisiones, condiciones meteorológicas y topográficas, etc.

La Agencia Estadounidense de Protección Ambiental (EPA), recomienda que para determinación de las estaciones potenciales de monitoreo , se deben considerar también el tipo y número de fuentes de emisión, la forma del terreno (topografía), y los factores favorables de cada lugar, tales como:

- Ubicación de otras fuentes y de estaciones de monitoreo existentes o programadas en el área
- Topografía del área en estudio.
- Dirección y forma de la pluma de las emisiones gaseosas de las fuentes.
- Accesibilidad de energía eléctrica.
- Seguridad

Las estaciones independientes deben complementarse una a la otra y estar ubicados en áreas de preferencia pavimentadas, o donde exista una cobertura vegetal, para mantener al mínimo la influencia de partículas removidas por el viento.

Estas consideraciones hicieron posible determinar finalmente las cuatro estaciones de muestreo, las mismas que quedaron ubicadas en puntos representativos del Cercado de Lima Metropolitana como puede apreciarse en la Tabla N° 15 y en el plano mostrado en la Figura N° 4.

FIGURA N° 4

UBICACION DE ESTACIONES

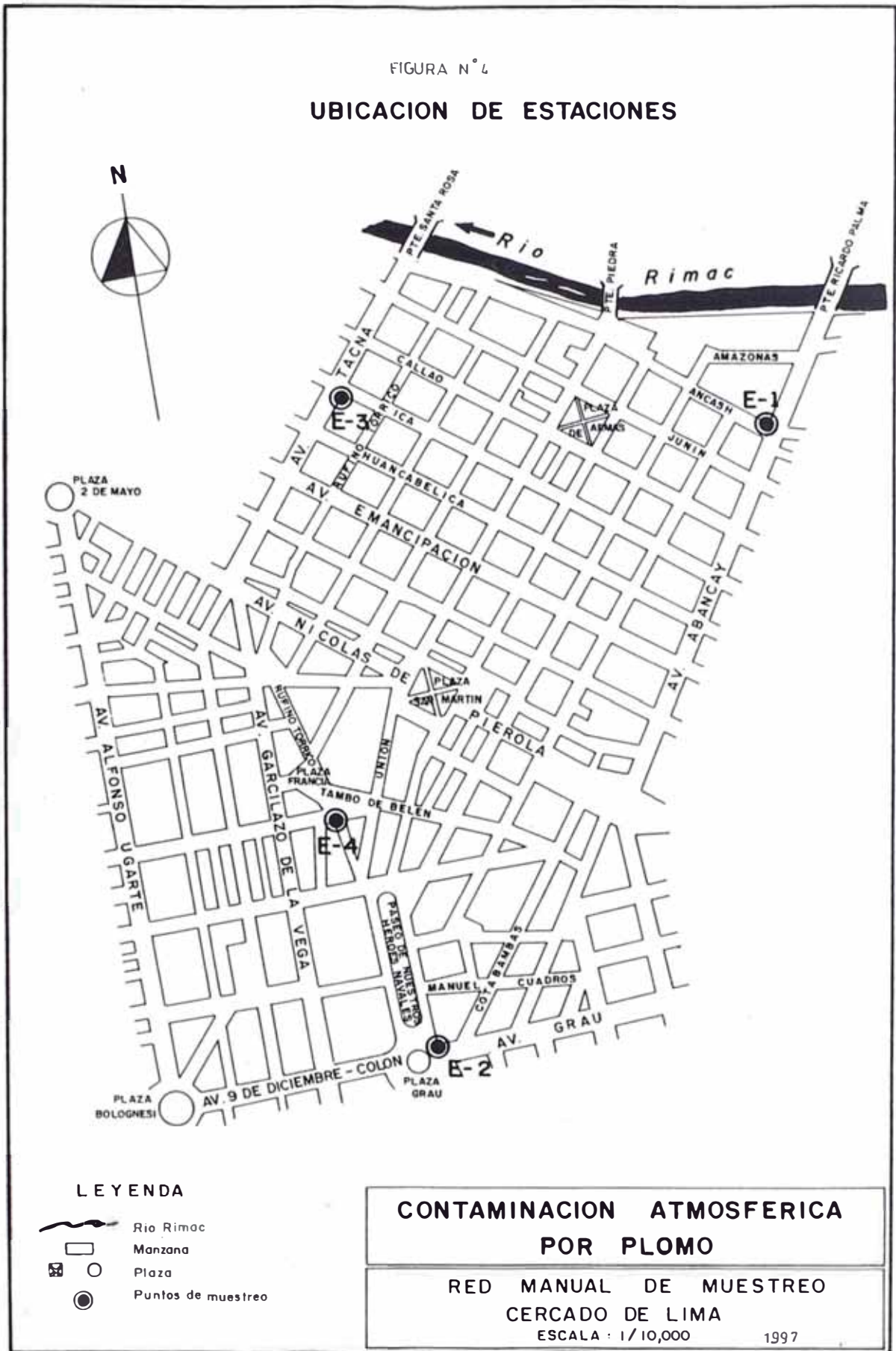


Tabla N° 15 Estaciones de muestreo establecidos en el Cercado de Lima

Código de la estación de muestreo	Lugar de Estudio	Ubicación de la estación de muestreo
E-1	Av. Abancay	Terraza del Edificio CONACO
E-2	Plaza Grau	Terraza Edificio Anglo-Peruano.
E-3	Av. Tacna	Azotea del Hall del Cine Central
E-4	Av. Uruguay	Azotea C.C.Centro Lima

4.2.1. Estación de muestreo (E-1)

Esta estación de muestreo se ubica en la terraza del Edificio CONACO ubicado en las intersecciones de la segunda cuadra de la Av. Abancay y el Jr. Ancash, por esta avenida transitan muchos vehículos de transporte público, los cuales son causantes de la mayor parte de la polución atmosférica por la emisión de los gases de escape, por las congestiones que generan. Las características del medio urbano que rodea a esta estación (E-1) corresponde a una zona comercial y residencial puesto que está rodeada de muchos centros comerciales y edificios de vivienda.

El equipo captador Hi Vol fue ubicada a 4,0 m de altura de la acera donde la frecuencia vehicular es variable durante el ida , siendo el promedio en las horas punta de 95 vehículos/minuto.

Las emisiones de los automotores generadas en la Av. Abancay y las demás vías que confluyen en ella como los Jirones Amazonas, Junín, Ancash, Miroquesada, Cusco, Emancipación, Nicolás de Piérola, etc. son evaluadas en esta estación.

4.2.2. Estación de muestreo (E-2)

La estación de muestreo E-2 se ubicó en la terraza del Edificio Anglo-Peruano que se encuentra en la esquina formada por la Av. Grau y la Vía Expresa, donde confluyen importantes vías con elevada frecuencia

vehicular que durante el día es en promedio de 50 vehículos/minuto, incrementándose hasta 125 vehículos/minuto, entre las 18:00 y 20:00 horas

El equipo captador Hi Vol fue instalada a 6,0 m de altura desde donde se observa panorámicamente toda la Plaza Grau y las avenidas que confluyen en ella. Esta estación de muestreo E-2 se encuentra al oeste de la estación E-1.

Una característica importante de esta estación es que está rodeada por edificaciones altas a 300 m a la redonda como el Centro Cívico, Hotel Sheraton, Anglo-Peruano, CAPECO, etc, aunque el único edificio de gran tamaño que se encuentra adyacente a esta estación es el Anglo-Peruano. Cabe señalar que la ventilación en esta estación es óptima facilitando la dispersión de los contaminantes.

4.2.3. Estación de muestreo (E-3)

La Av. Tacna constituye una de las arterias principales del Cercado de Lima con elevado tránsito vehicular y peatonal, por donde circulan un gran número de líneas de transporte público. Entre la intersección de la Av. Tacna y el Jr. Ica se ubicó la estación de muestreo (E-3) que esta rodeada por edificaciones elevadas y presentan una deficiente ventilación por el aglomerado urbano que presenta donde los vientos se vuelven en ciertas ocasiones turbulentos y pierden dirección y fuerza, causando el estancamiento del aire de la zona sin permitir su dispersión.

La frecuencia vehicular en ésta avenida alcanza un promedio de 85 vehículos/minuto en horas punta y un promedio de 62 vehículos/minuto durante el día. Esta estación de muestreo E-3 se fijó en la azotea del Hall del Cine Central, a una altura de 6,0 m de la acera. Existen otras vías que confluyen en dicha avenida como los Jrs. Conde de Superunda, Ica,

Callao, Huancavelica, Emancipación, Moquegua, Av. N. Piérola, etc. donde el tráfico automotriz es de menor grado, cuyas emisiones son también evaluadas en este punto de control, por estar comprendidos en el radio de acción de esta estación ubicada en la Av. Tacna (E-3).

4.2.4. Estación de muestreo (E- 4)

Las intersecciones de la Av. Uruguay y la Av. Wilson, constituyen también zonas potenciales de contaminación donde fue ubicada la estación E-4 cuya cobertura consideramos que es amplia puesto que abarca la plaza San Martín, el Jr. de la Unión, la Av. Wilson, la Av. Alfonso Ugarte, Jr Camaná, Av. Bolivia, etc.

Este punto de muestreo se fijó en el último nivel del parqueo del Centro Comercial Centro Lima, entre las intersecciones de la Av. Uruguay y la prolongación del Jr. Camaná frente a la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional Federico Villarreal.

El equipo captador de alto volumen se instaló a una altura de 10m de la acera donde los vientos son generalmente de mayor intensidad que en las demás estaciones.

4.3. Período de muestreo

Según la metodología aplicada en el muestreo el período para la determinación de plomo es de 24 horas continuas mediante la captación de masa particulada en suspensión en el aire ambiente con un equipo de alto volumen. Asimismo se determinó la frecuencia de muestreo que fue de una muestra cada diez días por estación.

Durante el estudio se capturaron un total de 48 muestras lo cual se llevó a cabo en seis meses abarcando desde Junio hasta Diciembre de 1.996,

período en el cual las variaciones climáticas fueron de características más o menos similares que correspondieron a la estación de invierno con una transición al verano.

4.4. Método de muestreo

La metodología aplicada en el muestreo del Plomo en el aire, es la gravimétrica ya que el plomo se encuentra en forma de partículas muy finas en suspensión flotando en el aire; la toma de las muestras se realiza mediante el uso de un equipo de alto volumen (Hi Vol) previamente calibrado.

En el Estudio realizado se utilizaron dos muestreadores de alto volumen, a saber:

*** Hi Vol Metal Work Inc. N° 05**

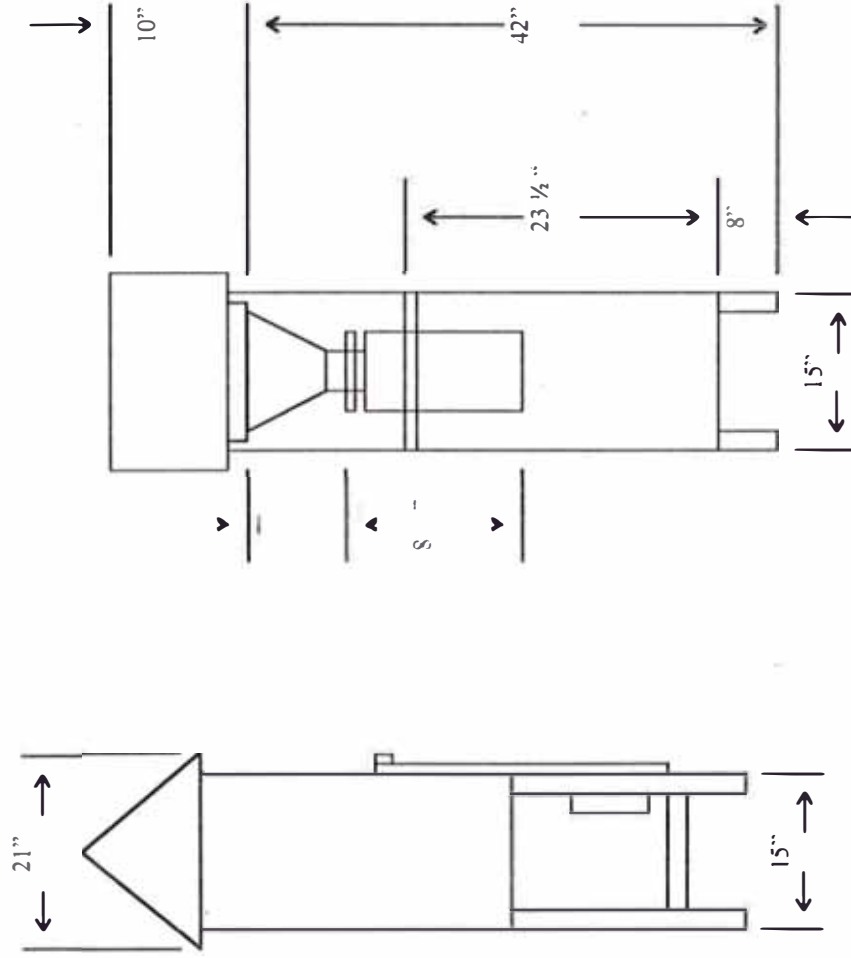
*** Hi Vol Graseby N° 0503**

El esquema del Hi Vol Metal Work Inc, que fue utilizada en el 90 % del Estudio se presenta en la Figura N° 5.

La metodología de muestreo en el aire ambiental se sujeta a los procedimientos de la Environmental Protection Agency EPA-USA. y que se basa en hacer pasar un volumen de aire a través de un filtro de fibra de vidrio durante un período de 24 horas, de tal forma que las partículas suspendidas en el aire son retenidas por el filtro. A este método también se le suele llamar como el método de altos volúmenes, por usarse como equipo captador o muestreador aquellos que succionan grandes volúmenes de aire entre 1,1 y 1,7 metros cúbicos de aire por minuto.

Figura N° 5

Hi - Vol GMWL-2000



Especificaciones

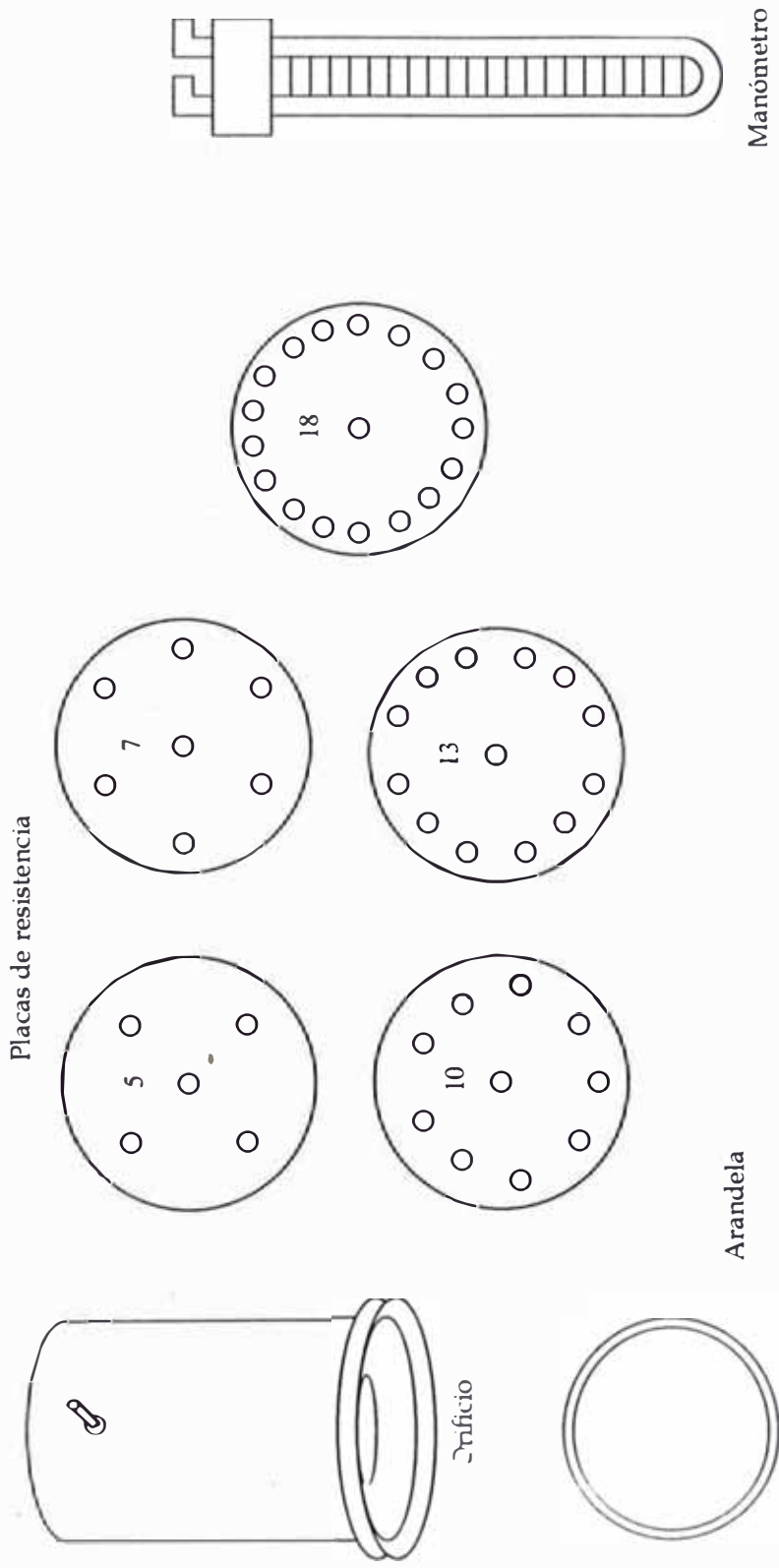
Motor:	0,6 HP
Velocidad:	18.250 RPM
Amperage:	6,25 A
Potencia:	745 W
Flujo máximo:	60 CFM
Flujo mínimo:	20 CFM
Fuente:	115 voltios - 60 Herz

4.4.1. Calibración de los equipos muestreadores

Para la calibración de los equipos Hi Vol utilizados en la evaluación de plomo en el Cercado de Lima fue necesario el uso de un equipo calibrador. Para este propósito contamos con el GMW-25 CALIBRATION KIT presentada en la Figura N° 6 y consta de los siguientes dispositivos:

- Un tambor metálico de 7,6 cm de diámetro interior y 15,9 cm de largo, con una válvula de presión estática a 5,1 cm de distancia de uno de los extremos.
- Un reborde anular de unos 10,0 cm de diámetro exterior, fileteado con rosca macho del mismo calibre que la boca de admisión del colector de muestras.
- Un anillo fileteado de rosca hembra que se fija a la boca de admisión una pieza metálica de 9,0 cm de diámetro y 0,25 cm de grosor con un orificio central de 3,0 cm de diámetro.
- En el otro extremo del tambor lleva una pestaña de sujeción para un dispositivo de acoplamiento con rosca hembra que se atornilla en la boca de admisión del colector.
- Un juego de cinco discos o placas de resistencia con 5, 7, 10, 13 y 18 perforaciones u orificios críticos, respectivamente que serán colocados independientemente entre el tambor y la boca de admisión del colector mediante una arandela.(Ver Figura N° 6).

Figura N° 6
Kit de calibración



Para el calibrado de cada equipo Hi Vol se instaló el sistema como se muestra en la Figura N° 7 y se procedió a registrar datos para la Curva de Calibración mediante los siguientes pasos:

1. Se coloca la primera placa de resistencia entre el tambor calibrador y el motor del Hi Vol. que previamente están conectadas a uno de los ramales de los manómetros de calibración y de referencia, respectivamente (Ver Figura N° 7), luego se enciende el motor y se registran la altura de los niveles de agua destilada que alcanzan en cada manómetro, a estas alturas lo llamaremos Δh .
2. En forma análoga se procede para cada uno de los demás discos o placas de resistencia, registrándose las alturas alcanzadas en cada manómetro. Estos datos nos servirán para determinar los flujos reales de muestreo mediante una tabulación en la Curva de Calibración del equipo que viene desde el fabricante, siendo necesario en algunos casos realizar una extrapolación.
3. Los valores de las alturas o niveles de agua destilada que se registran en los ramales de los manómetros de calibración y de observación resultan ser distintas cada vez que se cambia la placa de resistencia. Estas alturas (Δh) deben ser expresados en pulgadas de agua para que posteriormente sean cruzadas en la Curva de calibración del fabricante.
4. Cabe tomar en cuenta que las condiciones de presión atmosférica y altitud son factores ambientales que deben ser corregidos en la curva de calibración obtenida, dependiendo del lugar donde se realiza el trabajo de muestreo, para esto existen tablas de corrección para cada equipo.

5. Los datos de calibración obtenidos son tabulados y extrapolados en la curva de calibración del fabricante del equipo y son anotados en un papel milimetrado en cuyo eje de las abcisas "X" van los flujos reales expresados en pies cúbicos por minutos (CFM) y en el eje de las ordenadas "Y" son anotados los valores de las alturas de agua registrados en el manómetro de observación expresados en pulgadas de agua (inches de H₂O).
6. El cálculo de la ecuación de la Curva de Calibración de cada equipo resulta de los datos de flujo real versus altura de agua mediante la aplicación de una regresión lineal y el cálculos de los coeficientes de regresión con lo cual se hallará la ecuación correspondiente a la curva de calibración.
7. Los registros obtenidos en la calibración de los muestreadores de alto volumen son presentados en las Tablas N° 16 y 18, respectivamente, las variables para hallar los Coeficientes de regresión lineal y la ecuación de la curva de calibración se presentan en las Tablas n° 17 y 19, correspondientes para los Hi Vol Graseby y Metal Work, respectivamente.

Figura N° 7
Sistema de calibración del Hi - Vol

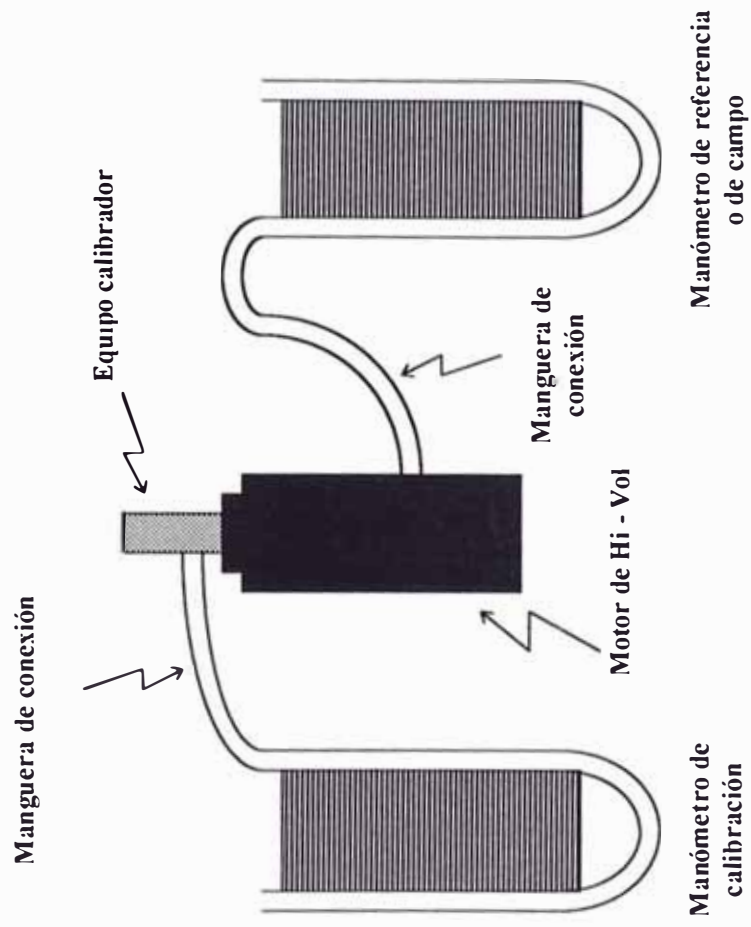


Tabla N° 16. Niveles de agua en los manómetros de calibración del

III Vol- Graseby N°0503

Placas de resistencia con orificios	Altura de agua en manómetro observado ΔH -(inch)	Altura de agua en manómetro calibrador ΔH - (cm)	Altura de agua en manómetro calibrador ΔH - (inch)	Flujo real en (CFM) (*)	Flujo real (CFM) y ΔH (inch) observado
18	7,7	32,0	12,59	62,5	(62,5; 7,7)
13	6,1	26,9	10,59	57,3	(57,3; 6,1)
10	4,7	19,6	7,72	49,1	(49,1; 4,7)
7	2,9	12,4	4,88	39,1	(39,1; 2,9)
5	1,8	8,0	3,15	31,3	(31,3; 1,8)

(*) CFM: Pies cúbicos por minuto.

Estos valores del flujo real resultan de tabular y extrapolar los Δh del manómetro calibrador mediante la curva de calibración del fabricante donde existen valores de flujo real para un determinado Δh en inches de agua (altura de agua en pulgadas) Por ejemplo 63 CFM para 13,6", 60 CFM para 11,6", 55 CFM para 9,7", y así sucesivamente hasta 30 CFM para 2,9 pulgadas (2,9").

*La curva de calibración respectiva, es obtenida aplicando la regresión lineal, que implica la resolución de las ecuaciones parciales siguientes:

$$Y = a + b * X \dots\dots\dots(1)$$

$$a = \bar{Y} - b * \bar{X} \dots\dots\dots(2)$$

$$b = \frac{n \sum XY - \sum X * \sum Y}{n \sum X^2 - (\sum X)^2} \dots\dots\dots(3)$$

*Para la determinación de los coeficientes “a” y “b” , así como de la ecuación, se calcula previamente las variables requeridas que se indican en dichas ecuaciones parciales 1, 2 y 3, para que finalmente sea hallada la Ecuación de la Curva de Calibración.

Las variables utilizadas para hallar los coeficientes de regresión lineal a y b, son presentados en la Tabla N° 17

Tabla N° 17 Variables para hallar los coeficientes de regresión lineal y la ecuación de la curva de calibración

X	Y	X.Y	X ²
62,5	7,7	481,25	3.906,25
57,3	6,1	349,53	3.283,29
49,1	4,7	230,77	2.410,81
39,1	2,9	1	1.528,81
31,3	1,8	56,34	979,69
239,3	23,2	1.231,28	12.108,85

*Los calculos realizados nos permite obtener lo siguiente:

$$\bar{X} = \frac{239,3}{5} = 47,86$$

$$\bar{Y} = \frac{23,2}{5} = 4,64$$

,con estos datos se calculan los valores de los

coeficientes de regresión lineal:

$$b = \frac{(5 * 1.231,28) - (239,3 * 23,2)}{(5 * 12.108,85) - 239,3^2} = 0,184$$

$$a = 4,64 - (0,184 * 47,86) = -4,166$$

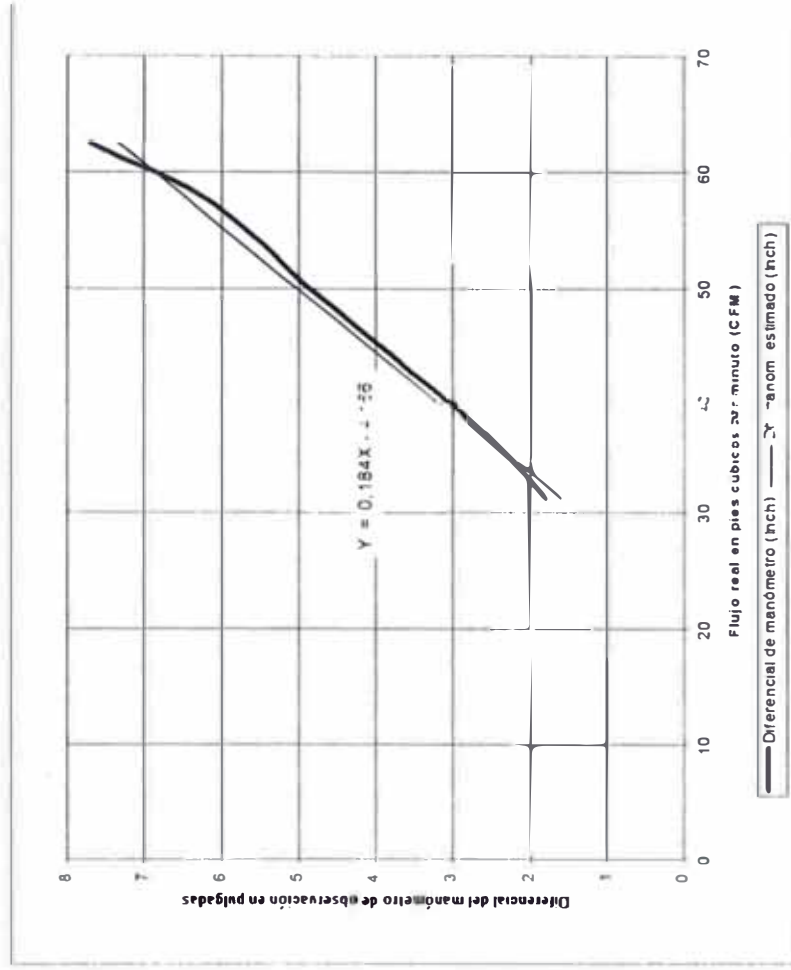
*Reemplazando estos valores de los coeficientes en la ecuación (1) obtenemos finalmente la ecuación de la curva de calibración, que se muestra a continuación:

$$Y = 0,184X - 4,166 \quad \text{(I)}$$

*La ecuación (I) corresponde a la unidad de alto volumen Hi Vol Graseby
Nº 0503

Figura N° 8.

Curva de calibración del Hi Vol GRASEBY N° 0503



Flujo real (CFM)	Altura de agua en manómetro (inch)	Altura de agua estimada (inch)
62,5	7,7	7,3
57,3	6,1	6,4
49,1	4,7	4,9
39,1	2,9	3,0
31,3	1,8	1,6

Tabla N° 18 Niveles de agua en los manómetros de calibración del Hi-Vol Metal Work Inc N° 05

Placas de resistencia con sus orificios	Altura de agua en manómetro observado ΔH -(inch)	Altura de agua en manómetro calibrador ΔH - (cm)	Altura de agua en manómetro calibrador ΔH - (inch)	Flujo real en (CFM) (*)	ΔH (inch) y Flujo real (CFM) observado
18	9,3	18,6	7,32	47,7	(9,3; 47,7)
13	7,3	15,0	5,91	42,9	(7,3; 42,9)
10	5,4	11,3	4,45	37,3	(5,4; 37,3)
7	3,3	7,1	2,78	29,4	(3,3; 29,4)
5	2,2	4,3	1,69	23,9	(2,2; 23,9)

(*) CFM Pies cúbicos por minuto.

Para hallar los coeficientes de regresión lineal se procede análogamente al caso anterior, calculando previamente las variables que se requirieron para éste propósito, tales como: $\sum XY$, $\sum X$, $\sum Y$, $\sum X^2$ y las medias de X e Y.

Los valores del flujo real, resultan de tabular y extrapolar los Δh leídos en el manómetro de calibración, mediante la curva de calibración del equipo que viene de fábrica; en esta curva del equipo existen valores de flujo real para un determinado Δh en inches de agua.

Por ejemplo el flujo real de 63 CFM corresponde para 13,6" de agua, 60 CFM para 11,6", 55 CFM para 9,7", y así sucesivamente hasta 30 CFM para un Δh igual a 2,9" de agua en el manómetro de calibración.

Tabla N° 19. Variables para el cálculos de los coeficientes “a”, “b” y la ecuación de la curva de calibración.

X	Y	X.Y	X ²
47,7	9,3	443,61	2.275,29
42,9	7,3	313,17	1.840,41
37,3	5,4	201,42	1.391,29
29,4	3,3	97,02	864,36
23,9	2,2	52,58	571,21
181,2	27,5	1.107,8	6.942,56

Con los datos de las Tablas N° 18y 19 análogamente es hallada la ecuación de la curva de calibración de este Hi Vol.

$$Y = 0,296X - 5,23 \quad \text{(II)}$$

Con las ecuaciones halladas para cada equipo se obtienen los flujos reales correspondientes al valor del Δh promedio obtenido entre la altura inicial y final registrado en el manómetro de observación o de campo. Por ejemplo si en el equipo Hi Vol Metal Work Inc. N° 05 se registró al inicio del muestreo una altura Δh igual a 6,5 cm y 6,0 cm al final del período de muestreo, entonces el promedio de estas alturas es de 6,25 cm.; este valor del Δh promedio, obtenido des pues del muestreo durante 24 horas se encuentra en el eje “Y” o eje de las ordenadas.

Al reemplazar este valor del Δh promedio en la Ecuación (2) del Hi Vol Metal Work Inc N° 05, se obtiene el valor del flujo real en pies cúbicos por minuto (CFM) que se encuentra en el eje “X” o eje de las abcisas; realizando los cálculos respectivos se tiene lo siguiente:

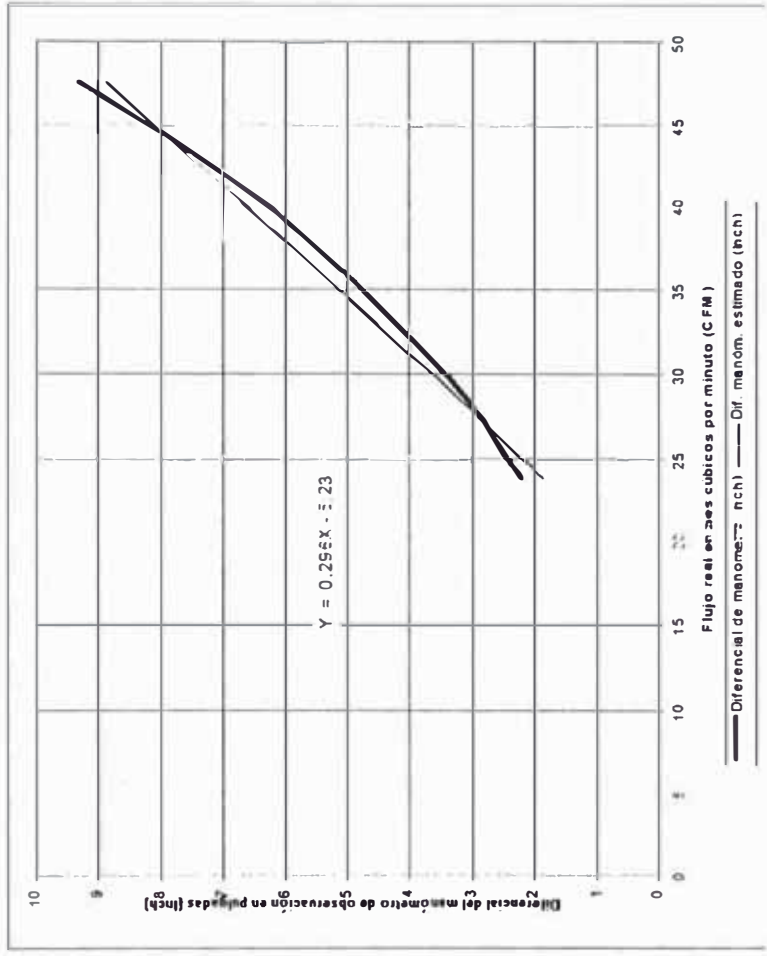
$$\begin{aligned}
 Y &= 0,296X - 5,53 \\
 6,25 &= 0,296X - 5,23 \\
 X &= \frac{6,25 + 5,23}{0,296} \\
 X &= 38,78CFM \approx 1.097,6LPM
 \end{aligned}$$

Análogamente, se calculan los flujos reales para cada muestreo, dependiendo del Δh promedio del muestreo, respectivo.

Cabe mencionar por otro lado, que la ecuación de la curva de calibración del monitor, específicamente nos servirá para hallar el flujo real de trabajo y el cálculo posterior del volumen de aire captado durante el tiempo que duró el muestreo, que mediante una simple multiplicación del flujo real por el tiempo se obtendrá dicho volumen, ya sea en m^3 , $pies^3$, litros, etc.

Este dato del volumen de aire que ingresa a través del filtro que coleccionará las partículas suspendidas en este medio, será finalmente aplicado como un cociente para hallar la concentración del agente, objeto del presente estudio, como se podrá apreciar en el Capítulo de procesamiento de resultados.

Figura N° 9.
 Curva de calibración del Hi - Vol METAL WORK INC N° 05



Flujo real (CFM)	Altura de agua en manómetro (Inch)	Altura estimada (Inch)
47,7	9,3	8,9
42,9	7,3	7,5
37,3	5,4	5,8
29,4	3,3	3,5
23,9	2,2	1,8

4.4.2. Preparación y manejo de los filtros colectores

La exactitud del peso de la muestra, depende básicamente de este paso, que consiste en el desecado previo de los filtros de fibra de vidrio que para el presente estudio fueron los filtros GELMAN del tipo A/N, Mod. O/T de 8x10 pulgadas con una porosidad nominal de 1,0 micra (10^{-6} cm) de diámetro.

El desecado es por un tiempo de 24 horas, tomando en cuenta las condiciones ambientales, es decir el procedimiento del pesado de los filtros es igual antes y después de colectada la muestra; entonces se procede a su pesado inicial y final, mediante una balanza analítica con una precisión de diez milésimas de gramo para después protegerlo entre dos papeles limpios alisados y dentro de un sobre manila para ser transportado a la estación de muestreo y su análisis en el laboratorio, respectivamente.

Las características que presenta el filtro utilizado para el presente estudio es su fragilidad debiendo tomarse especial cuidado en su manejo desde su desecado, pesado y transporte. Para coger este filtro se debe hacer mediante un pinza y evitar ensuciarlo. Estas consideraciones deben tomarse en cuenta antes y después del muestreo; asimismo se debe proteger y codificar en un sobre manila, donde se escribirá claramente el lugar o punto de control correspondiente, así como la hora de inicio y fin del muestreo, y la fecha. Estos datos deberán ser claros y precisos, para que no se produzca ninguna confusión al momento de su análisis.

4.4.3. Procedimiento de muestreo

En la estación de muestreo se instala el equipo captador previamente calibrado y se coloca el filtro preparado en el portafiltro del equipo Hi Vol con la superficie rugosa hacia arriba donde el material particulado recolectado se adhiere o quedará retenido. La captación de la muestra se lleva a cabo durante un período de 24 horas realizando mediciones de otros parámetros con el fin de controlar el comportamiento del proceso de la toma de muestra, tales como el registro de la altura (ΔH) que alcanza los niveles de agua destilada en los ramales del manómetro de observación o de campo donde se anota la altura inicial y final para que al término del muestreo se calcule el promedio de estos valores.

Por otro lado, los registros meteorológicos en la estación de muestreo también son realizados cada 3 horas para observar las variaciones climáticas.

El promedio de las alturas obtenidos en el manómetro de observación se ingresan a la curva de calibración del Equipo utilizado para determinar el flujo real de trabajo durante el muestreo, lo cual nos servirá para el cálculo del volumen del aire muestreado en las 24 horas.

El filtro con la muestra se manipula con sumo cuidado, evitando que se doble o pierda muestra alguna y altere el peso de la muestra obtenida y, así tener resultados mas confiables.

4.5. El Análisis de las muestras

Para determinar la concentración de plomo presente en el aire, una fracción de la muestra obtenida en los filtros de colección es procesada por digestión química, donde las partículas suspendidas retenidas en el filtro son atacados químicamente con ácido nítrico concentrado, y

mediante operaciones unitarias de evaporación, filtración y enrasado se obtiene finalmente una solución iónica de plomo para su lectura en el Espectrofotómetro de absorción atómica, efectuándose esta operación por duplicado para cada muestra (M1 y M2), asimismo para el blanco de reactivo y de filtro (Blanco); de tal modo existirán tres fioles enrasadas para sus lecturas correspondientes.

Previamente al análisis químico la masa de partículas retenidas en el filtro es determinada por la diferencia de pesos final e inicial del filtro utilizado durante el muestreo, luego se toma una muestra representativa del total para dividirla en pequeños trozos y colocarlos dentro de un erlenmeyer para ser atacados con ácido nítrico.

Todas las muestras obtenidas en las estaciones del Cercado de Lima fueron tratados en forma similar en el laboratorio de la Dirección General de Salud Ambiental, obteniéndose finalmente la concentración de plomo en microgramos de plomo por cada metro cúbico de aire. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

4.5.1. Materiales, reactivos e instrumentos utilizados

Para la ejecución del muestreo y su análisis en el laboratorio fueron necesarios contar con una serie de materiales, reactivos químicos e instrumentos que cumplan todas las especificaciones técnicas y las normas internacionales. Entre estos se utilizaron los siguientes:

Materiales:

- Una caja de filtros de 8" x 10" y 1 μm de diámetro de porosidad.
- Papel de filtrado de 125 mm de diámetro.

- Sobres manila y papel alisado.
- Plumón para codificar las muestras en vidrio.

Papel milimetrado.

Reactivos:

- Ácido nítrico (HNO_3) concentrado.
- Silica gel.

Equipos e Instrumentos:

- Desecador
- Balanza analítica
- Frascos Erlenmeyer
- Vasos de precipitado para evaporar y filtrar
- Plancha para evaporar
- Fiolas de 25 ml.
- Equipo captador de alto volumen (Hi Vol)
- Pinzas
- Espectrofotómetro de Absorción Atómica
- Contómetro
- Equipos de protección personal (Guantes, respiradores, mandiles, etc.).

Otros accesorios de Laboratorio para el análisis químico de las muestras.

4.5.2. Procedimiento de análisis

1º Desecado de los filtros:

Los filtros de fibra de vidrio son colocados dentro de un desecador conteniendo sílica gel que tiene la propiedad de absorber la humedad del medio que lo rodea. El desecado se realiza por un período de 24 horas y es importante tomar en cuenta las condiciones ambientales.

2º Pesado inicial:

Se pesa mediante una balanza analítica con alta sensibilidad cuyos resultados tienen una precisión de hasta diez milésimas de gramo. El peso inicial del filtro será aquel que resulta ser constante luego de efectuar 4 ó 5 pesadas con un intervalo de tiempo de tres minutos, aproximadamente.

3º Codificación del filtro:

En un sobre manila se anotará algunos datos específicos como el número del filtro, su peso inicial, la estación de muestreo, el lugar de muestreo, la fecha y hora del período de muestreo entre otros.

4º Muestreo o toma de muestras:

Se realizaron por un período de 24 horas según la metodología de la EPA con una frecuencia de 10 días por estación. Cabe mencionar que durante la toma de muestra, se registran los parámetros meteorológicos.

5° Desechado del filtro con muestras colectadas:

Una vez concluida el muestreo se procede a desecar nuevamente el filtro conteniendo la masa de partículas en equipo desecador manteniendo las condiciones ambientales similares al pesado inicial del filtro limpio. El desecado de esta muestra se realiza durante 24 horas.

6° Pesado final del filtro con muestra colectada:

El pesado del filtro con muestra previamente desecada se realizará con la misma balanza analítica, considerando los mismos pasos seguidos para la determinación del peso inicial del filtro limpio; asimismo, las condiciones ambientales serán tomados muy en cuenta a pesar que la balanza posee un microambiente con sílica gel para mantener seco este ambiente.

7° Toma de muestra representativa:

Se corta una parte representativa de muestra colectada, previamente dimensionada en una determinada área del filtro con muestra, dependiendo del peso final. Esta muestra representativa tiene un peso de 50 000 ug y es equivalente a una fracción sub-múltiplo del peso total de la muestra, aplicando el criterio de muestra homogénea a través del área del filtro colector.

8° Digestión completa de la muestra representativa:

La muestra representativa es dividida en pequeños trozos y son colocados dentro de un erlenmeyer y se añade de 15 a 20 ml de ácido nítrico concentrado (HNO_3) mediante una pipeta provista de un fuelle y con la ayuda de una máscara de protección personal contra los vapores tóxicos e irritantes de este ácido.

El ataque químico o digestión química de la muestra se realiza en un erlenmeyer y sobre una plancha a 150 °C será evaporada hasta lograr un volumen de 10 ml de solución iónica con metales pesados entre ellos el plomo

Este procedimiento analítico en el laboratorio se realiza en forma simultánea para la muestra 1, la muestra 2 (duplicada) y el blanco (del reactivo y el filtro GELMAN utilizado en el muestreo).

9º Filtrado y evaporado:

La muestra digerida en el paso anterior es filtrado y evaporado hasta obtener un volumen de solución iónica de 10 mililitros. La filtración de la muestra digerida se realizó con papel filtro Whatman Nº 42 y lavando el filtro conteniendo residuos de muestra con agua destilada hasta desprender por completo la muestra adherida a dicho filtro.

Generalmente el volumen de la solución filtrada es de 50 ml que será evaporado finalmente hasta lograr obtener 10 ml de solución química y concentrar la solución resultante en un volumen aproximado de 25 ml después de evaporarlo.

10º Llevar la solución iónica a un volumen reducido:

A este procedimiento se le llama también como el enrasado de la solución iónica obtenida después de ser evaporado donde se ha obtenido unos 10 ml de solución concentrada conteniendo metales pesados. El enrasado se hace en una fiola de 25 ml al cual se le puede añadir agua destilada. Este mismo procedimiento se aplica para la muestra duplicada y el blanco para su lectura final en el espectrofotómetro.

11º Lectura en el Espectrofotómetro de Absorción Atómica:

La determinación del valor de la concentración de plomo se realiza mediante el espectrofotómetro de absorción atómica. El procedimiento de lectura consiste en aspirar la muestra de la fiola de 25 ml previamente enrasada a través de un capilar cuya lectura se realiza en llama y se registra la absorción según los pasos detallados a continuación:

Colocar la lámpara de interés que posee un cátodo hueco de plomo, para nuestro caso.

Colocar los parámetros: Longitud de onda, slit, corriente de la lámpara, reguladores de cilindro de gas, suministro de aire y acetileno.

Tomar en cuenta que la calibración del equipo se realiza con un blanco y una solución estándar de concentración conocida.

Dar energía a la lámpara y alinearla optimizando la ganancia de energía, con el ajuste de los botones de posición de la lámpara horizontal y vertical, con los de ajuste de posición del quemador y con el de la longitud de onda.

Colocar los parámetros de calibración: lineal, no lineal, concentración de estándares, reslope, etc.

Correr un blanco y el estándar de calibración de referencia.

Correr los diferentes estándares de la curva.

Correr la muestras

Analizar un estándar (reslope) y un blanco cada 10 muestras leídas para verificar la calibración de la curva

Alternar el blanco con la lectura o corrida de cada muestra

Si las concentraciones están fuera de las curva de calibración hacer las diluciones necesarias

Las lecturas o corridas espectrofotométricas arrojarán las concentraciones de las muestras problema.

12° Cálculos y expresión de resultados: Los resultados obtenidos después de la lectura con el espectrofotómetro de absorción atómica PERKIN ELMER -MOD. 3100 son expresados en ppm y mediante cálculos con los datos obtenidos en el laboratorio y el campo se determinará finalmente la concentración de plomo.

En la Figura N° 10 se presenta el Diagrama de Flujo que resume todos los pasos que se siguen en la determinación de plomo en el aire.

Figura N° 10

Diagrama de flujo para la determinación de plomo en aire ambiente



4.6. Control de los parámetros meteorológicos durante el estudio

Debido a la interacción dinámica de los fenómenos atmosféricos y las variables o contaminantes del aire, es muy importante realizar un control del comportamiento climático y sus parámetros, en forma simultánea a la toma de muestras.

A continuación se presentan los registros del control meteorológico con sus valores promedio alcanzados en el ámbito de estudio (Tabla N° 20).

La contaminación atmosférica y ambiental, en general tiende a magnificar sus características y poder destructor y de riesgo para la salud, de acuerdo con las condiciones existentes en la zona de estudio, por ello el microclima de una gran urbe debe ser motivo de observaciones y monitoreos continuos, en base a una adecuada red de observatorios meteorológicos distribuidos técnicamente.

El microclima urbano nos permite conocer con cierta seguridad la cuantía de los contaminantes en los centros urbanos y su entorno.

Las temperaturas de las ciudades pueden ser más elevadas en sus partes céntricas y diferir en varios grados de temperatura con su entorno, las que se deben en parte al calentamiento que producen las máquinas, cocinas, equipos industriales y domésticas, instaladas en esta zona; asimismo el aporte del tránsito automotor que disipa gran cantidad de calor al ambiente, acompañado de humos, polvo, gases, etc.

En las ciudades, la circulación de los vientos es muy compleja y por ende muy difícil de precisar su dirección; su velocidad de éstos son mucho más bajas en las calles céntricas que en las periféricas, llegando a ser 1/3 algunas veces.

**Tabla N° 20. Parámetros meteorológicos en el Cercado de Lima Metropolitana
(Ámbito de estudio) durante el período de muestreo
(Junio - Diciembre, 1996)**

Parámetros registrados	Meses del Período de Muestreo					
	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Dic.
Temperatura Máxima Media (°C)	17,0	17,2	17,9	17,7	19,1	22,2
Temperatura Mínima Media (°C)	14,6	14,1	14,7	14,5	15,2	17,8
Temperatura Media Mensual (°C)	15,8	15,6	16,3	16,1	17,2	20,0
Humedad Relativa Máxima Media	97	96	95	94	93	91
Humedad Relativa Media Mensual (%)	90	86	85	86	83	82
Velocidad del Viento (m/s)	2	4	4	4	4	4
Dirección del viento predominante	SSW	SSW	SE	SE	SW	S

Comentario: Para la determinación de estos parámetros meteorológicos durante el estudio se utilizaron equipos de medición portátiles de la línea EXTECH, tales como higró-termómetro, anemómetro y una brújula de precisión.

Las mediciones se han realizado con una frecuencia de tres horas y por estación de muestreo, las cuales fueron promediadas parcialmente por estaciones y en forma global para todo el ámbito de estudio, tal como se muestra en la

Tabla N° 20.

4.7. Procesamiento de datos

Las concentraciones de plomo en cada una de las 48 muestras resultan del procesamiento de datos obtenidos en campo y de los análisis en el laboratorio que han comprendido lo siguiente:

1. La razón de flujo de aire de muestreo, obtenidos en el manómetro de campo, registrando el nivel inicial y final para cada muestra, para determinar la altura media ΔH .
2. Cálculo del flujo real en CFM mediante la Curva de Calibración a partir de la obtención de la altura media de los niveles del manómetro.
3. Tiempo total de muestreo en horas o minutos.
4. Cálculo del volumen total de aire muestreado en metros cúbicos a partir del paso 2 y 3.
5. Determinación del peso total de las partículas colectadas por diferencia entre el peso final y el inicial del filtro. Para este cálculo previamente la muestra es desecado y pesado en las mismas condiciones iniciales.
6. Cálculo de la cantidad de plomo en cada muestra tomada cuya determinación resulta de las correcciones realizadas con los valores del blanco y la media de las cantidades de plomo encontrados en las muestras M1 y M2.
7. Determinación de la concentración de plomo en el aire del ámbito de estudio, mediante un procedimiento de datos.

4.7.1. Determinación de la altura media (Δh) alcanzado por el manómetro de campo.

Al inicio y al final de cada muestreo se anota la altura (Δh) alcanzado por los niveles de agua destilada en los ramales del manómetro de campo, que durante el período de 24 horas que generalmente dura el muestreo se da esta variación, siendo recomendable hallar la media de estas alturas, para poder ingresar con este dato a la Curva de Calibración.

Para la primera muestra de la Av. Abancay (E-I) por ejemplo se registraron los siguientes datos de campo:

$$\Delta H \text{ inicial} = 8,5 \text{ cm}, \quad \Delta H \text{ final} = 6,5 \text{ cm} \quad \text{y} \quad \Delta H \text{ media} = 7,5 \text{ cm}$$

4.7.2. Cálculo del flujo real

Mediante la Curva de Calibración del equipo usado en el muestreo se calcula la razón de flujo del muestreo.

Para nuestro ejemplo se trabajo con el Hi Vol Metal Work cuya ecuación de la curva de calibración es: $Y = 0,296X - 5,23$, entonces reemplazando en esta ecuación el valor de $Y = 7,5 \text{ cm}$ se obtiene $X = 43 \text{ CFM}$ y convirtiendo a LPM resulta ser igual a 1.217,09 LPM, que vendría a ser el flujo real.

De esta manera se calcula para cada una de las muestras el flujo real de trabajo. Ver hoja de cálculos en Anexos para cada estación.

4.7.3. Tiempo de muestreo

El tiempo de muestro para cada caso fue aproximadamente de 24 horas con ligeras variaciones en minutos. Al inicio y al final del muestreo se

registra el tiempo, para tener exactamente los minutos totales de muestreo; para la muestra del ejemplo fue de 1.371 minutos de muestreo.

4.7.4. Volumen de aire muestreado

Para el cálculo del volumen total de aire muestreado se multiplica el flujo real obtenido en cada muestreo por el tiempo neto de muestreo y al dividirlo entre 1.000 este resulta ser el volumen en metros cúbicos.

Así, para la muestra del ejemplo el volumen de aire fue de:

$$((1.217,09\text{LPM}) \cdot (1.371\text{minutos})) / 1.000 = 1.668,63 \text{ m}^3$$

En la Tabla N° 21 se presentan los volúmenes de aire por muestreo y por estación, obtenidos durante el Estudio en el Cercado de Lima.

Tabla N° 21. Volúmenes de aire por muestreo y por estación (m³)

Muestra N°	Av. Abancay (Estación 1)	Pza. Grau (Estación 2)	Av. Tacna (Estación 3)	Av. Uruguay (Estación 4)
1	1.668,63	1.647,93	1.824,26	1.917,82
2	1.705,37	1.659,69	1.783,31	1.828,33
3	1.335,84	2.303,31	1.827,77	1.823,75
4	1.527,43	1.594,28	1.720,82	1.718,19
5	1.444,43	1.658,30	1.764,78	1.803,18
6	1.680,75	1.837,69	1.653,60	1.679,59
7	1.638,71	1.628,77	1.472,81	1.737,28
8	1.710,06	1.734,35	1.611,57	1.739,97
9	1.525,70	1.650,11	1.665,43	885,25
10	1.575,87	871,49	1.387,62	1.718,85
11	1.562,18	1.764,38	2.622,59	2.614,07
12	1.654,76	1.539,28	2.320,35	2.638,37

4.7.5. Peso total de las partículas colectadas en el muestreo

Para la determinación del peso de las partículas totales en suspensión se realiza una diferencia de pesos inicial y final, previamente estos filtros han sido desecados y pesados en las mismas condiciones iniciales.

Así, para la primera muestra correspondiente a la estación de la Av. Abancay (E-1), de acuerdo con los datos anotados en la Hoja de Cálculos, presentado en el Anexo 9.4.1, será como se indica:

$$\begin{aligned}
 P_i &= 3,7703g \\
 P_f &= 4,0771g \\
 \Rightarrow P_c &= P_f - P_i = 0,3068g
 \end{aligned}
 \quad , \text{donde: } \begin{cases} P_i = \text{peso. inicial} \\ P_f = \text{peso. final} \\ P_c = \text{peso. colectado} \end{cases}$$

En la Tabla N° 22 se presenta los pesos del material particulado (PTS), calculados en forma similar al ejemplo mostrado; habiéndose procedido de esta manera para cada una de las 48 muestras tomadas en el Estudio.

Tabla N° 22. Pesos de PTS en gramos (gr) por estación y muestra

Muestra N°	Av. Abancay (Estación 1)	Pza. Grau (Estación 2)	Av. Tacna (Estación 3)	Av. Uruguay (Estación 4)
1	0,3068	0,3319	0,5413	0,3906
2	0,4563	0,3759	0,2113	0,2982
3	0,5074	0,3525	0,2010	0,3485
4	0,3176	0,2552	0,2566	0,2700
5	0,3420	0,3137	0,4071	0,3284
6	0,4420	0,2283	0,2933	0,3004
7	0,4916	0,3311	0,4388	0,3883
8	0,3551	0,2534	0,5905	0,6948
9	0,3892	0,4773	0,4373	0,2546
10	0,4719	0,2469	0,4589	0,3989
11	0,4773	0,2480	0,3500	0,3588
12	0,4511	0,3472	0,4635	0,4577

4.7.6. Cálculo de la cantidad de Plomo por muestra y por estación.

Comprende la determinación de la concentración de Plomo para cada una de las muestras contenida en las fiolas, luego de un proceso de análisis químico, donde el Plomo se encuentra en un medio ionizado.

Para la muestra del ejemplo anterior (primera muestra correspondiente a la estación de la Av. Abancay E-1), se ha determinado lo siguiente:

- Reporte de las lecturas realizadas por el Espectrofotómetro de Absorción Atómica, con los siguientes valores:

$$\begin{aligned} M_1 &= 7,38 \text{ } \mu\text{g/ml} \\ M_2 &= 6,61 \text{ } \mu\text{g/ml} \\ Blco &= 0,01 \text{ } \mu\text{g/ml} \end{aligned} \quad , \text{donde: } \begin{cases} M_1 = \text{Muestra.1} \\ M_2 = \text{Muestra.2} \\ Blco = \text{Blanco} \end{cases}$$

- Según el siguiente cálculo se determinará el Plomo total por muestra:

$$\begin{aligned} M_1 - Blco &= 7,37 \text{ } \mu\text{g/ml} \\ M_2 - Blco &= 6,60 \text{ } \mu\text{g/ml} \\ \text{Promedio} &= \frac{(7,37 + 6,60)}{2} = 6,99 \text{ } \mu\text{g/ml} \\ \Rightarrow \text{Peso total de ion Pb por muestra} &= (6,99) * (25) * (6) = 1.048 \text{ } \mu\text{g/muestra} \end{aligned}$$

Los factores 25 y 6 del cálculo anterior, corresponden al volumen de la fiola con solución iónica que fue leída por el Espectrofotómetro, y a la fracción de la muestra analizada, respectivamente.

La Tabla N° 23 presenta el peso total de plomo encontrado en cada una de las muestras analizadas durante el estudio y están expresados en microgramos de Plomo por muestra.

Tabla N° 23. Peso total de Plomo por muestra y por estación, expresados en ($\mu\text{g}/\text{muestra}$)

Muestra N°	Av. Abancay (Estación 1)	Pza. Grau (Estación 2)	Av. Tacna (Estación 3)	Av. Uruguay (Estación 4)
1	1.048,00	388,20	1.240,00	992,00
2	1.228,00	738,20	644,00	548,00
3	1.468,00	1.200,00	443,00	848,00
4	842,00	1.142,50	365,00	1.266,20
5	1.406,00	772,50	1.138,20	820,50
6	540,00	444,00	621,00	552,00
7	2.097,50	533,80	535,00	728,00
8	1.027,80	770,00	1.866,00	1.937,80
9	480,00	730,00	2.605,50	924,00
10	1.565,00	1.085,80	995,70	845,00
11	1.710,80	1.093,20	350,00	1.068,20
12	1.340,80	1.244,80	973,20	1.333,20

4.7.7. Concentración de Plomo en el aire

Las concentraciones de Plomo en el ámbito de estudio están expresados en $\mu\text{g}/\text{m}^3$, cuyo valor se obtiene dividiendo el peso de Plomo determinado por muestra entre el volumen de aire correspondiente a la misma muestra. Así, para la muestra del ejemplo, correspondiente a la muestra N° 1 de la estación 1 (E-1) de la Av. Abancay, será:

$$Vol_{\text{aire}} = 1.668,63\text{m}^3$$

$$Plomo_{\text{Total}} = 1.048,00 \mu\text{g}/\text{muestra}$$

$$C = \frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3}$$

$$V_{\text{aire}} = 1.668,63m^3$$

$$Plomo_{\text{Total}} = 1.048,00 \mu\text{g} / \text{muestra}$$

$$C = \frac{\mu\text{g}}{m^3}$$

Entonces el valor de la concentración (C) de plomo será:

$$C = \frac{1.048,00 \mu\text{g}}{1.668,03m^3} = 0,6 \mu\text{g} / m^3$$

Las concentraciones de Plomo para las demás muestras correspondientes al Estudio, fueron calculados en forma análoga y son presentadas en el Capítulo de Resultados.

4.8. Cronograma de actividades

La ejecución del estudio ha demandado más de un año, incluyendo los meses que duraron las coordinaciones pertinentes para ubicar las estaciones de muestreo en el Cercado de Lima y los correspondientes análisis, evaluación, procesamiento respectivo. Una vez determinado los puntos de muestreo se llevó a cabo el estudio en la estación E-1 ubicado en la Av. Abancay y a partir de este muestreo se continuo esta actividad en cada una de las demás estaciones, con una frecuencia de cada 10 días por estación. En la Figura N° 4 se resume gráficamente el Cronograma de Actividades durante el Estudio.

Cronograma de actividades de la investigación realizada en el Cercado de Lima para la determinación de Plomo en el aire

Meses	jun-96				jul-96				ago-96				sep-96				oct-96				nov-96				dic-96				nov-97							
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
Actividades																																				
Ubicación de las Estaciones	■																																			
Preparación de Equipos	■																																			
Muestreo	■				■																															
Análisis					■				■				■				■				■				■											
Procesamiento de datos y elaboración de Tesis																													■							

5. Resultados

En este Capítulo se presentan y discuten los resultados obtenidos en el muestreo realizado en las cuatro estaciones de muestreo en el período estudiado, comparando los hallazgos con los límites de Calidad del Aire, vigentes.

Así mismo, se presenta y discute el resumen global de los resultados correspondientes al Cercado de Lima Metropolitana, ámbito en el cual están circunscritas las cuatro estaciones de muestreo del Estudio.

Finalmente se presentan y comparan los resultados obtenidos en cuanto a partículas totales en suspensión (PTS) y Plomo, en las cuatro estaciones de muestreo del Cercado de Lima Metropolitana.

Se acompañan Tablas, Gráficos y el análisis por tres parámetros estadísticos: Media, Desviación estándar y covarianza de los resultados de Plomo hallados en Lima Cercado.

La determinación de las concentraciones de Plomo en aire en el ámbito de estudio se ha realizado para cada una de las muestras tomadas en las estaciones de muestreo del Cercado de Lima Metropolitana, ubicadas en la Av. Abancay, Plaza Grau, Av. Tacna y Av. Uruguay, que en total se tomaron 48 muestras a lo largo de la investigación, es decir un número de 12 por estación de muestreo; apreciándose los resultados obtenidos en las Tablas y Gráficas, respectivas.

Este Capítulo constituye una de las partes más trascendentales del Estudio, donde se indican las concentraciones obtenidas del agente evaluado, la presentación gráfica de los resultados, el análisis estadísticos de las mismas, la comparación de los resultados con los estándares Internacionales de la Calidad del Aire y finalmente las

concentraciones obtenidas con sus valores máximos, mínimos y promedios, con sus respectivas gráficas.

5.1. Concentración de plomo por estaciones de muestreo

A continuación presentamos en Tablas y gráficos los resultados obtenidos en cada una de las estaciones de muestreo del Cercado de Lima Metropolitana, comparándolo con el límite permisible; asimismo su grado de dispersión de los valores de las concentraciones de Plomo halladas en el Estudio.

5.1.1. Estación de muestreo de la Av. Abancay (E-1)

En la Tabla N° 24 se presentan las concentraciones de Plomo determinados en el área de la Av. Abancay con sus valores máximo, mínimo y promedio, expresados en microgramos de Plomo por metro cúbico de aire ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Así mismos estos valores obtenidos en esta estación son presentados con sus respectivas fechas donde se realizó el muestreo, indicando también el número total de muestras con el valor del límite máximo permisible con que se realiza la comparación, y así inferir el grado de contaminación existente en esta area de estudio.

Tabla N° 24 Plomo atmosférico en la estación E-1:Av. Abancay

(Junio -Noviembre, 1.996)

Fecha de Muestreo	Concentración de Plomo: $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (*)	Fecha de Muestreo	Concentración de Plomo: $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (*)
27.06.96	0,6	21.08.96	1,3
08.07.96	0,7	03.09.96	0,6
19.07.96	1,1	18.09.96	0,3
29.07.96	0,6	02.10.96	1,0
07.08.96	1,0	10.10.96	1,1
18.08.96	0,9	04.11.96	0,8
N° de muestras:	12		
Promedio:	0,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		
Máximo:	1,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		
Mínimo:	0,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		
Límite Máximo Permissible: 0,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (**)			

(*) Microgramos de Plomo por metro cúbico de aire.

(**) Límite Permissible según los lineamientos de la OMS y DIGESA.

Discusión:

Las concentraciones de plomo determinados en la Av. Abancay fluctuaron entre 0,3 y 1,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con una concentración promedio para el período de estudio de 0,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, valor que resulta superior al límite permisible de calidad de aire (0,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), mostrando que en el área circunscrita a la Av. Abancay es evidente la contaminación por este agente. Asimismo, al observar los gráficos N° 12 y 13, apreciamos con más claridad que el 84% de las muestras tomadas, es decir 10 muestras del total superan el nivel máximo permisible, lo cual nos demuestra que la contaminación en esta zona es casi permanente, habiéndose registrado la mayor concentración el

día 21 de Agosto de 1.996, donde se obtuvo una concentración de 1,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, que excede largamente al límite establecido por la OMS.

Cabe señalar que durante el muestreo se registraron vientos con velocidad promedio de 2,5 m/s, que se infiere arrastran las partículas de Plomo del parque automotor que circula por las calles aledañas, hacia la estación de muestreo ubicado en la terraza del Edificio CONACO, tal como se indicó anteriormente.

El análisis estadístico de los resultados se presentan en la Tabla N° 25, que muestra la dispersión de las concentraciones de Plomo encontrados en la estación de la Av. Abancay (E-1).

Tabla N° 25. Dispersión de las concentraciones de Plomo en la Av. Abancay (E-1)

x (Plomo en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	$x - \bar{x}$	$(x - \bar{x})^2$
0,6	-0,2	0,04
0,7	-0,1	0,01
1,1	0,3	0,09
0,6	-0,2	0,04
1,0	0,2	0,04
0,3	-0,5	0,25
1,3	0,5	0,25
0,6	-0,5	0,04
0,3	0,2	0,25
1,0	0,2	0,04
1,1	0,3	0,09
0,8	0,0	0,00
9,4	-	1,14

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} \Rightarrow \bar{x} = \frac{9,4}{12} = 0,783 \approx 0,8$$

$$\delta = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \Rightarrow \delta = \sqrt{\frac{1,14}{11}} = 0,32$$

$$\Rightarrow C.V. = \frac{\delta}{\bar{x}} * 100 \Rightarrow C.V. = \frac{0,32}{0,8} * 100 = 40\%$$

La desviación estándar (δ) y la covarianza (C.V.) de los valores de plomo obtenidos en la Av. Abancay nos indican que estos se mantienen con cierta uniformidad, aunque se dice que los datos son homogéneos si su C.V. es menor o igual al 33%, entonces su grado de dispersión es baja.

Figura N°12. Poligonal de las concentraciones de Plomo en la Av. Abancay

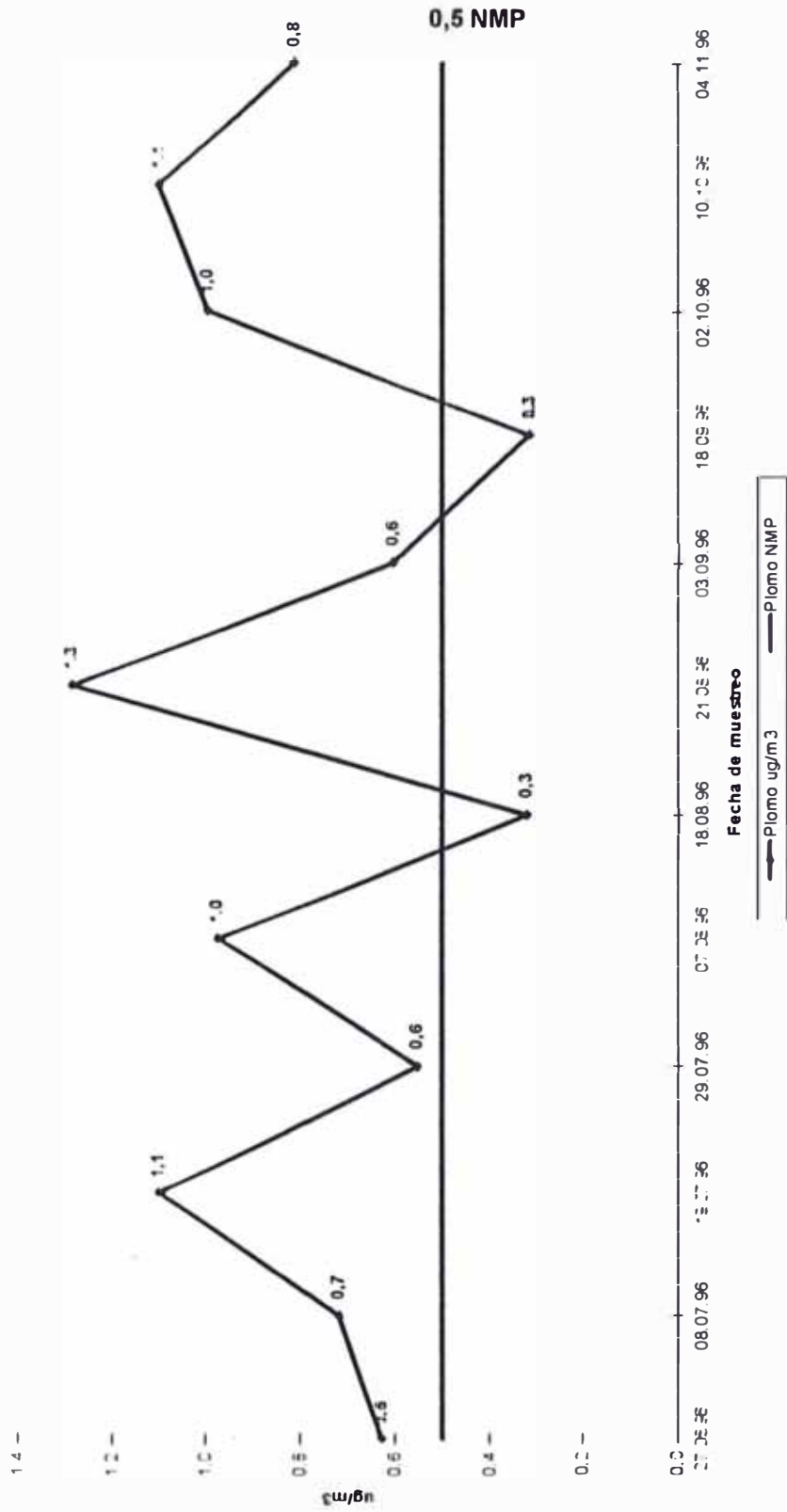
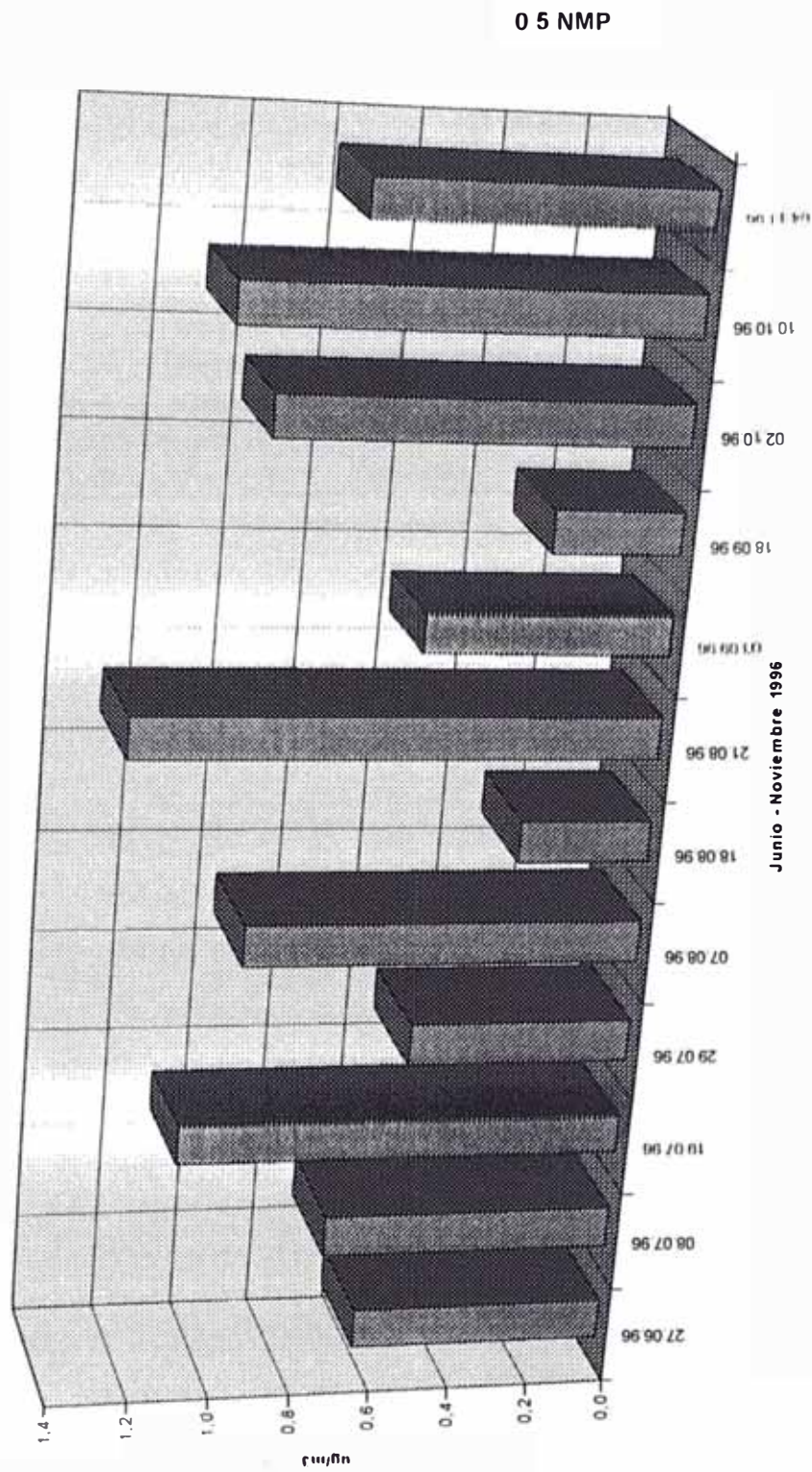


Figura N°13. Histograma de las concentraciones de Plomo en la Av. Abancay



5.1.2. Estación de muestreo de la Plaza Grau

En la Tabla N° 26 se presentan las concentraciones de plomo obtenidas en la zona de la Plaza Grau con sus valores máximo, mínimo y promedio, expresados en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabla N° 26. Plomo atmosférico en la estación E-2: Plaza. Grau
(Junio -Noviembre, 1.996)

Fecha de Muestreo	Concentración de Plomo: $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (*)	Fecha de Muestreo	Concentración de Plomo: $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (*)
18.07.96	0,2	17.09.96	0,3
28.07.96	0,4	27.09.96	0,4
09.08.96	0,5	09.10.96	0,4
15.08.96	0,7	21.10.96	1,2
26.08.96	0,5	12.11.96	0,6
06.09.96	0,2	02.11.96	0,8
<hr/>			
N° de muestras:	12		
Promedio:	0,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		
Máximo:	1,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		
Mínimo:	0,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		
<hr/>			
Límite Máximo Permisible: 0,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (**)			

(*) Microgramos de Plomo por metro cúbico de aire.

(**) Límite Permisible según los lineamientos de la OMS y DIGESA.

Discusión:

Las concentraciones de plomo obtenidos en la Plaza Grau fluctuaron entre 0,2 y 1,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, dando una concentración promedio de 0,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, valor que resulta ser igual al límite aceptable, evidenciando que la contaminación en esta zona es inminente.

Las Figuras N° 14 y 15, muestran gráficamente las variaciones de estas concentraciones donde podemos apreciar que 5 muestras sobrepasan el nivel máximo aceptable.

La dispersión de este agente contaminante en esta zona de estudio es más dinámica por sus características geográficas, donde los vientos registrados alcanzaron hasta 4,5 m/s, provenientes generalmente del sur.

A continuación se presenta la Tabla N° 28, con los cálculos de media, desviación estándar y covarianza.

Tabla N° 27. Dispersión de las concentraciones de plomo en la Plaza Grau (E-2)

x (Plomo en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	$x - \bar{x}$	$(x - \bar{x})^2$
0,2	-0,3	0,09
0,4	-0,1	0,01
0,5	0,0	0,00
0,7	0,2	0,04
0,5	0,0	0,00
0,2	-0,3	0,09
0,3	-0,2	0,04
0,4	-0,1	0,01
0,4	-0,1	0,01
1,2	0,7	0,49
0,6	0,1	0,01
0,8	0,3	0,09
6,2	-	0,88

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} \Rightarrow \bar{x} = \frac{6,2}{12} = 0,51 \approx 0,5$$

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \Rightarrow \delta = \sqrt{\frac{0,88}{11}} = 0,28$$

$$\Rightarrow C.V. = \frac{\delta}{\bar{x}} * 100 \Rightarrow C.V. = \frac{0,28}{0,5} * 100 = 56\%$$

La Plaza Grau muestra una gran dispersión de las concentraciones de plomo, cuya variación significativa obedece a muchos factores, entre ellos la frecuencia vehicular, el consumo de gasolina plomada, los fenómenos climáticos y meteorológicos, etc. La covarianza igual a 56% implica la irregularidad de los valores de plomo en esta zona.

Figura N° 14 Poligonal de las concentraciones de Plomo en La Plaza Grau

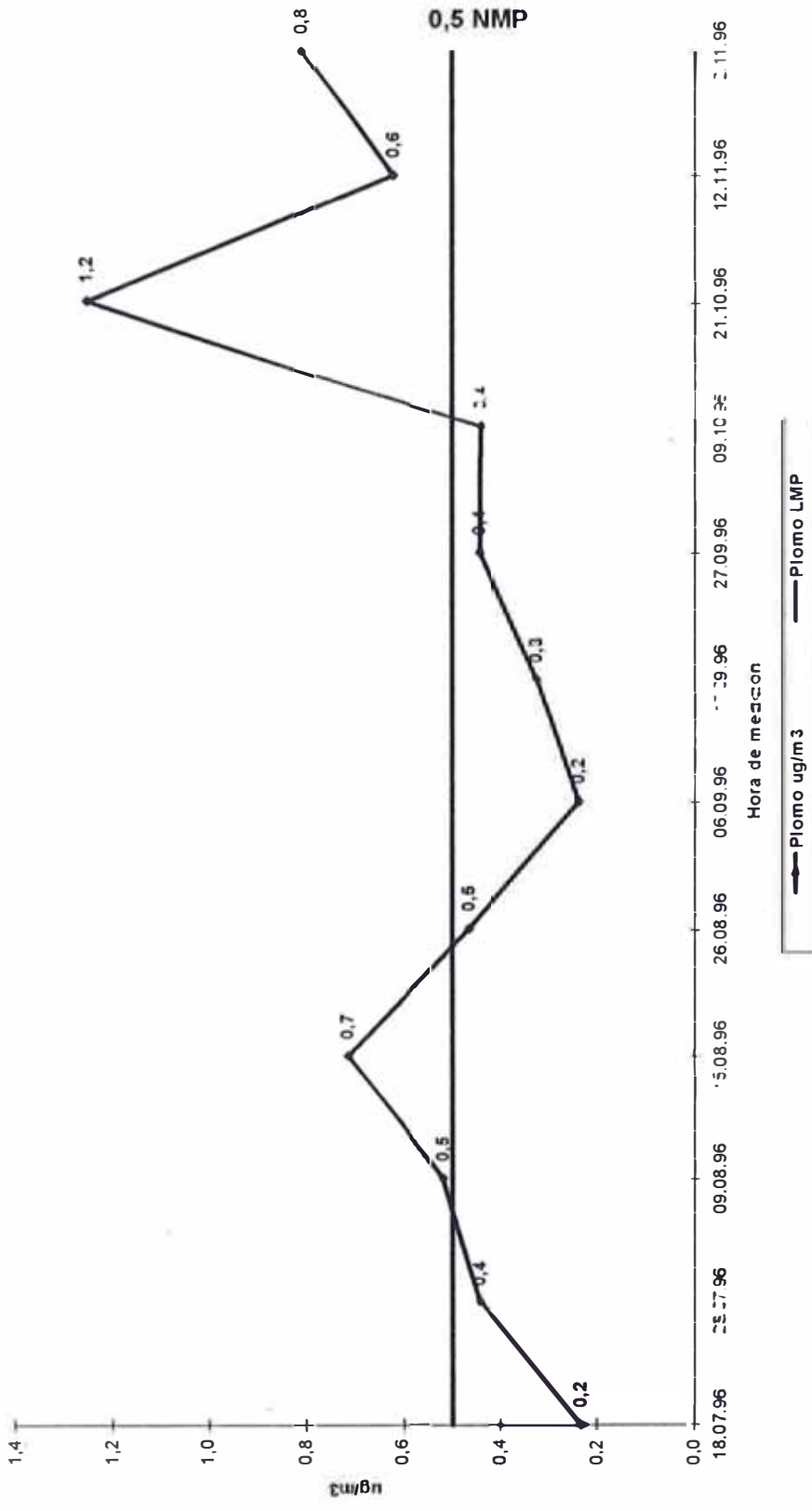
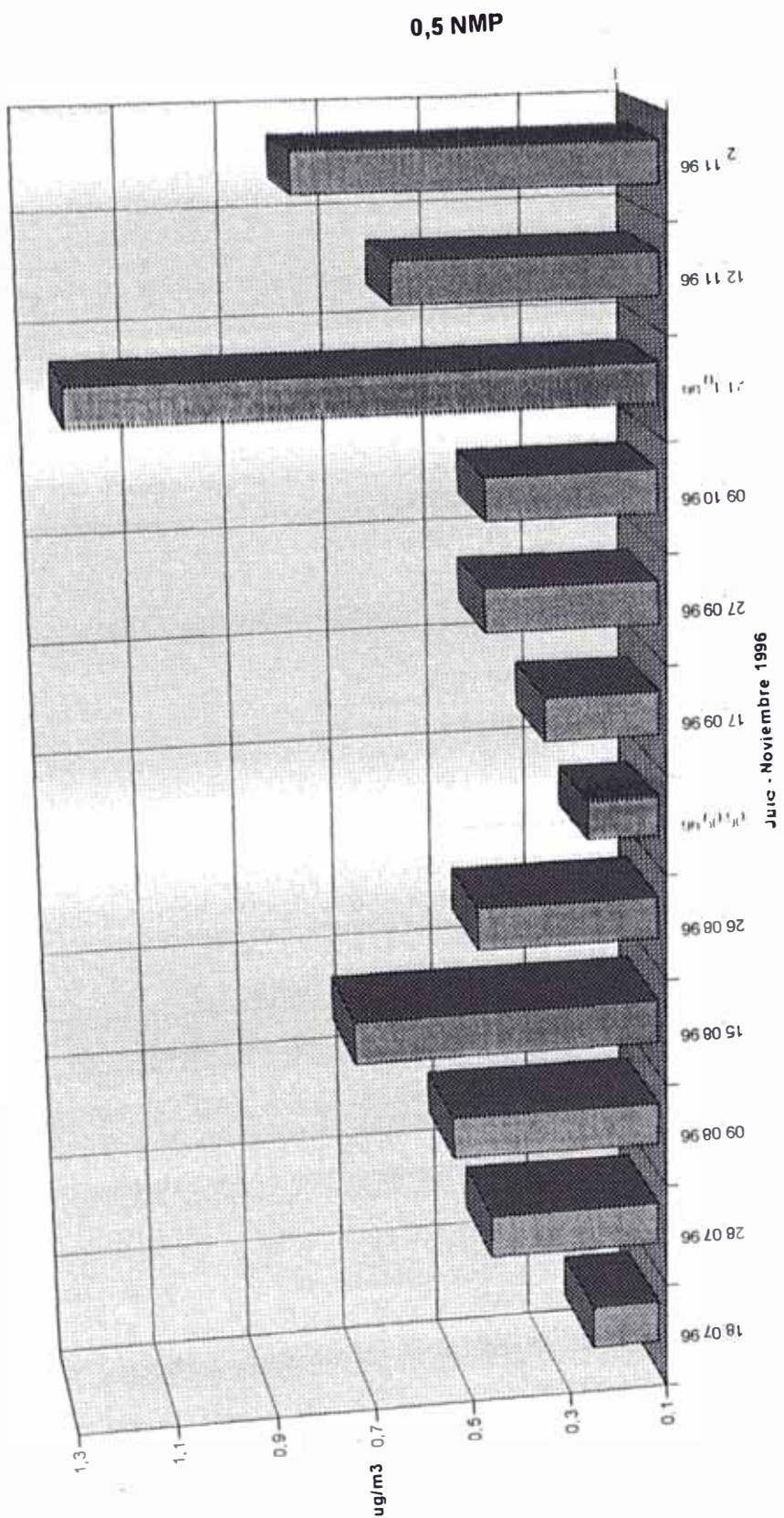


Figura N°15. Histograma de las concentraciones de Plomo en la Plaza Grau



5.1.3. Estación de muestreo de la Av. Tacna (E-3)

En la Tabla N° 29 se presentan los resultados de plomo, obtenidos en la estación de la Av. Tacna, con sus valores máximo, mínimo y promedio:

Tabla N° 28 Plomo atmosférico en la estación E-3:Av. Tacna

(Julio-Noviembre, 1.996)

Fecha de Muestreo	Concentración de Plomo: $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (*)	Fecha de Muestreo	Concentración de Plomo: $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (*)
11.07.96	0,7	01.10.96	0,4
21.07.96	0,1	10.10.96	1,2
12.08.96	0,2	20.10.96	1,6
23.08.96	0,2	01.11.96	0,7
05.09.96	0,6	14.11.96	0,1
16.09.96	0,4	25.11.96	0,4
N° de muestras:	12		
Promedio:	0,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		
Máximo:	1,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		
Mínimo:	0,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		
Límite Máximo Permissible: 0,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (**)			

(*) Microgramos de Plomo por metro cúbico de aire.

(**) Límite Permissible según los lineamientos de la OMS y DIGESA.

Discusión:

Durante el período de estudio en esta zona se encontraron concentraciones de plomo en el rango de 0,1 y 1,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, siendo la concentración promedio de 0,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, valor superior en un 20% al límite recomendado de calidad de aire, evidenciando una contaminación moderada debido a

este agente. En las Figuras N° 16 y 17 apreciamos que el 42% de las muestras tomadas superan dicho límite.

En la Tabla N° 30 se presenta el grado de dispersión de las concentraciones de Plomo, con un 70 % de covarianza. que implica una alta irregularidad en la presencia de este agente Plomo.

Tabla N° 29. Dispersión de las concentraciones de plomo en la Av. Tacna (E-3)

x (Plomo en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	$x - \bar{x}$	$(x - \bar{x})^2$
0,7	0,1	0,01
0,4	-0,2	0,04
0,2	-0,4	0,16
0,2	-0,4	0,16
0,6	0,0	0,00
0,4	-0,2	0,04
0,1	0,2	0,04
1,2	0,6	0,36
1,6	1,0	1,00
0,7	0,1	0,01
0,1	-0,5	0,25
0,4	-0,2	0,04
6,9	-	2,11

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} \Rightarrow \bar{x} = \frac{6,9}{12} = 0,576 \approx 0,6$$

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \Rightarrow \delta = \sqrt{\frac{2,11}{11}} = 0,42$$

$$\Rightarrow C.V. = \frac{\delta}{\bar{x}} * 100 \Rightarrow C.V. = \frac{0,42}{0,6} * 100 = 70\%$$

La dispersión de las concentraciones determinadas en la Av. Tacna tiene una alta covarianza igual a 70%, lo cual indica que la variación de plomo en esta estación es muy amplia donde se obtuvo un pico alto igual a $1,6\mu\text{g}/\text{m}^3$ y un valor mínimo de $0,1\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Las condiciones meteorológicas en esta zona fueron de características similares a la estación de la Av. Abancay, habiéndose registrado durante el período de monitoreo una velocidad promedio del viento igual a 3 m/s, con direcciones muy variadas.

Figura N°16. Poligonal de las concentraciones de Plomo en la Av. Tacna

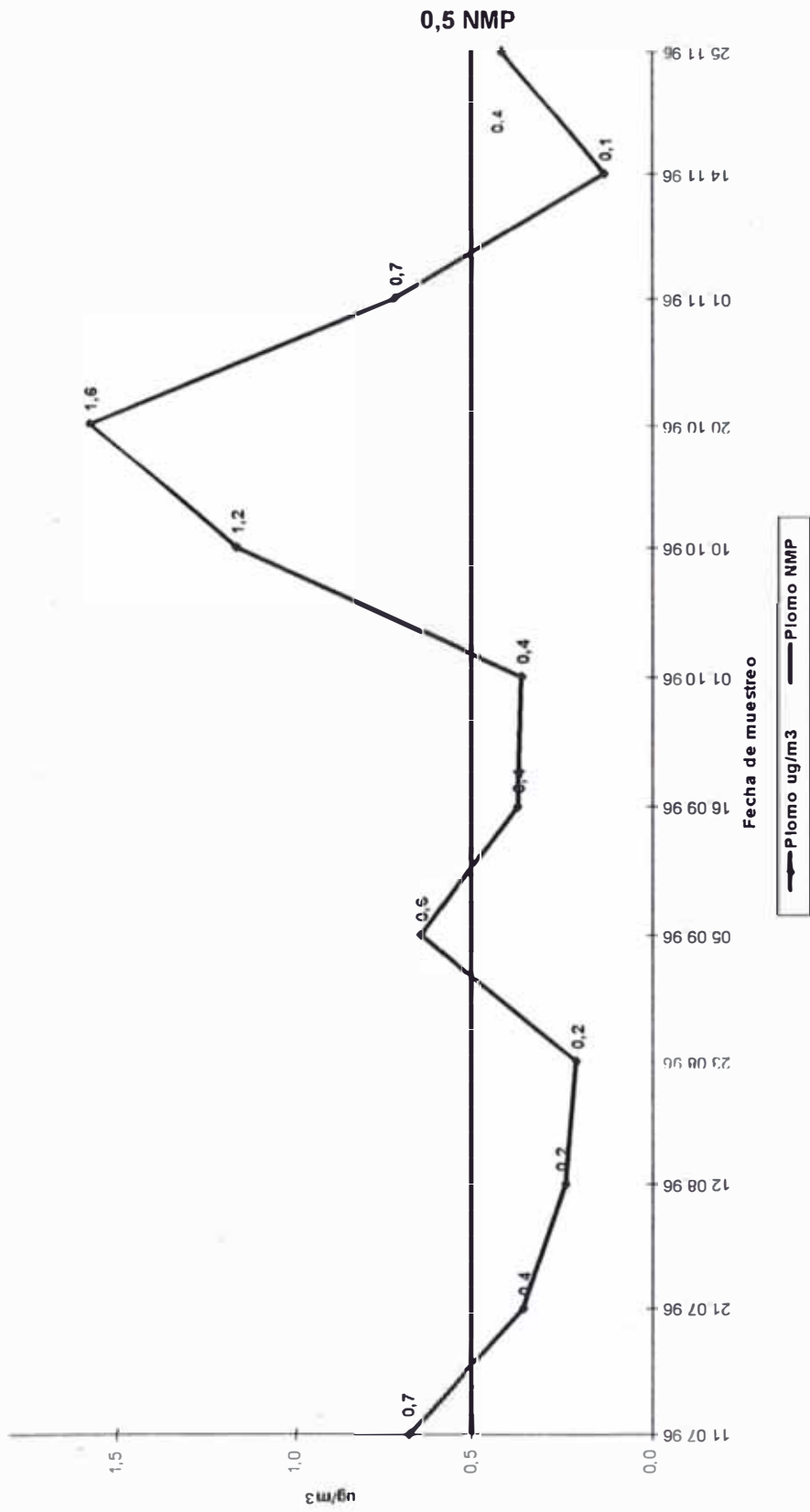
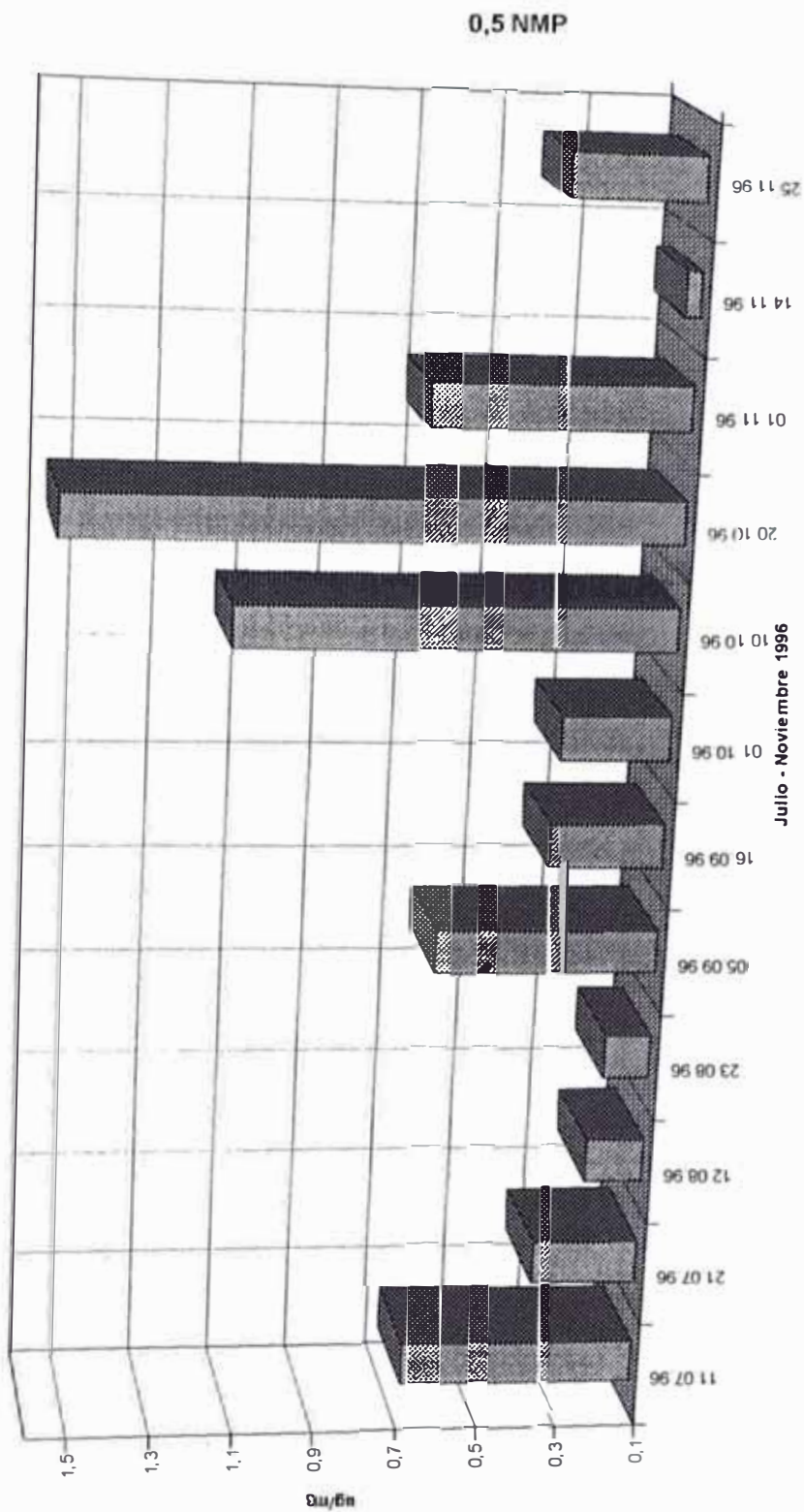


Figura N°17. Histograma de las concentraciones de Plomo en la Av. Tacna



5.1.4. Estación de muestreo de la Av. Uruguay (E-4)

En la siguiente tabla se muestran las concentraciones halladas en esta zona de estudio con sus valores máximo, mínimo y promedio.

**Tabla N° 30 Plomo atmosférico en la estación E-4:Av. Uruguay
(Julio - Diciembre, 1.996)**

Fecha de Muestreo	Concentración de Plomo: $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (*)	Fecha de Muestreo	Concentración de Plomo: $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (*)
01.07.96	0,5	26.09.96	0,4
15.07.96	0,3	09.10.96	1,1
26.07.96	0,5	20.10.96	1,0
13.08.96	0,7	31.10.96	0,5
22.08.96	0,5	13.11.96	0,4
09.09.96	0,3	10.12.96	0,5
N° de muestras:	12		
Promedio:	0,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		
Máximo:	1,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		
Mínimo:	0,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		
Límite Máximo Permisible: 0,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (**)			

(*) Microgramos de Plomo por metro cúbico de aire.

(**) Límite Permisible según los lineamientos de la OMS y DIGESA.

Discusión:

Los valores de plomo encontrados en la Av. Uruguay se encuentran en el rango de 0,3 y 1,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, dando un promedio de concentración de plomo para el período de estudio de 0,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, que es ligeramente superior al límite establecido y muestra la existencia de contaminación moderada en esta zona y sus alrededores.

Las Figuras N° 18 y 19 muestran las variaciones de estas concentraciones en forma gráfica mediante una Poligonal y un histograma, donde se aprecia que en esta estación sólo tres muestras exceden el nivel máximo permisible y cinco están en el límite donde la incidencia de contaminación por este agente es también notorio en esta zona de Lima.

En la Tabla N° 32 se presenta el grado de dispersión de este agente.

Tabla N° 31. Dispersión de las concentraciones de plomo halladas en la Av. Uruguay (E-4)

x (Plomo en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	$x - \bar{x}$	$(x - \bar{x})^2$
0,5	-0,1	0,01
0,3	-0,3	0,09
0,5	-0,1	0,01
0,7	0,1	0,01
0,5	-0,1	0,01
0,3	-0,3	0,09
0,4	-0,2	0,04
1,1	0,5	0,25
1,0	0,4	0,16
0,5	-0,1	0,01
0,4	-0,2	0,04
0,5	-0,1	0,01
6,7		0,73

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} \Rightarrow \bar{x} = \frac{6,7}{12} = 0,558 \approx 0,6$$

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \Rightarrow \delta = \sqrt{\frac{0,73}{11}} = 0,26$$

$$\Rightarrow C.V. = \frac{\delta}{\bar{x}} * 100 \Rightarrow C.V. = \frac{0,26}{0,6} * 100 = 43\%$$

El 43 % de covarianza de las concentraciones determinadas en la Av. Uruguay, nos muestra que en este lugar la contaminación por plomo tiene una fluctuación pequeña, es decir su variación no es de gran amplitud. De aquí podemos inferir que los factores contaminantes tienen un comportamiento uniforme.

En esta estación E-4, de la Av. Uruguay también se hizo un monitoreo simultáneo de los parámetros meteorológicos, dada su interacción con el contaminante en Estudio, habiendo registrado el anemómetro una velocidad promedio del viento de 4,5 m/s, muy similar al valor alcanzado en la estación E-2 de la Plaza Grau, a la cual se le atribuye la moderada concentración de Plomo en estas áreas.

Figura N°18. Poligonal de las concentraciones de Plomo en la Av. Uruguay

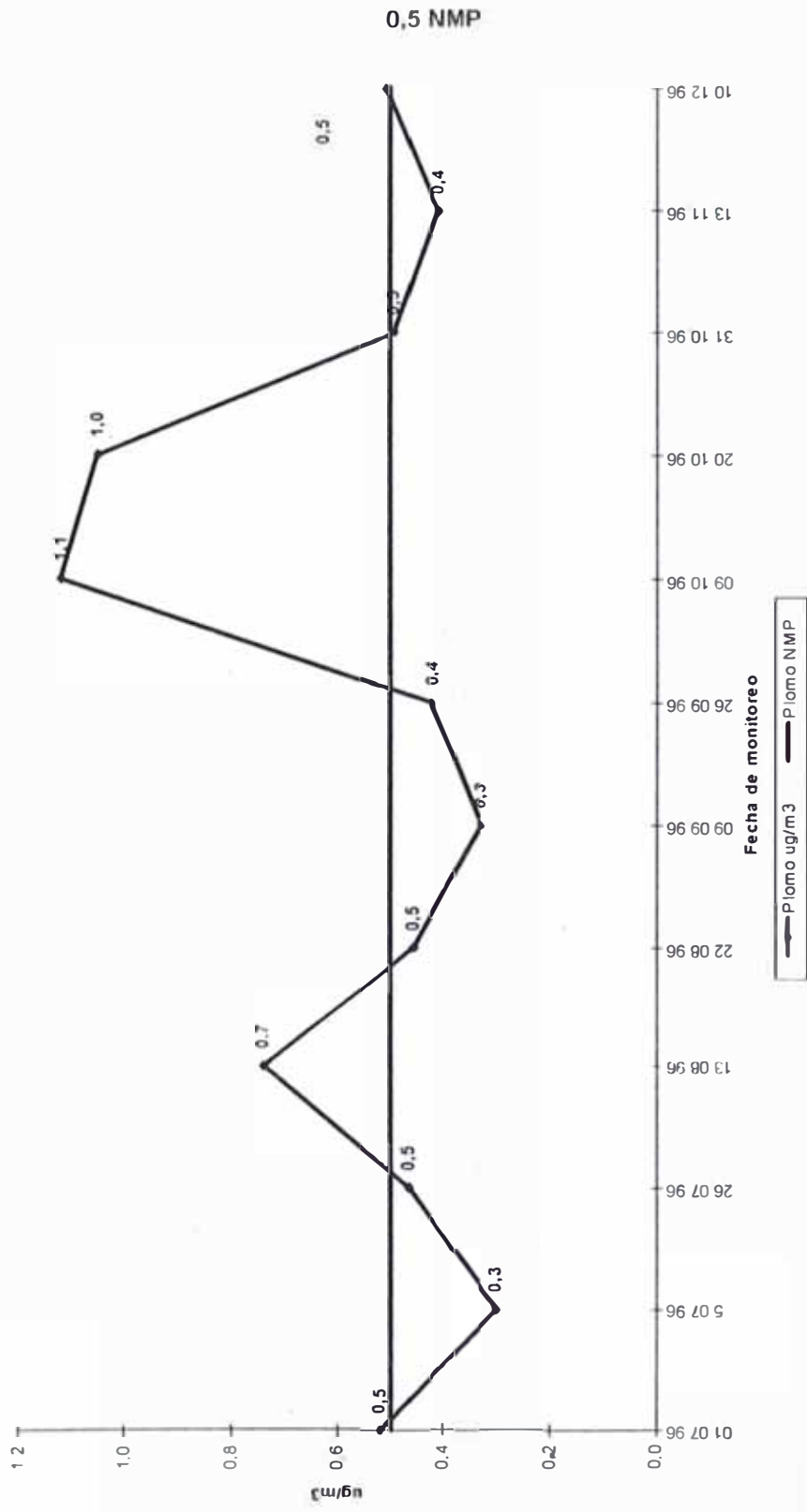
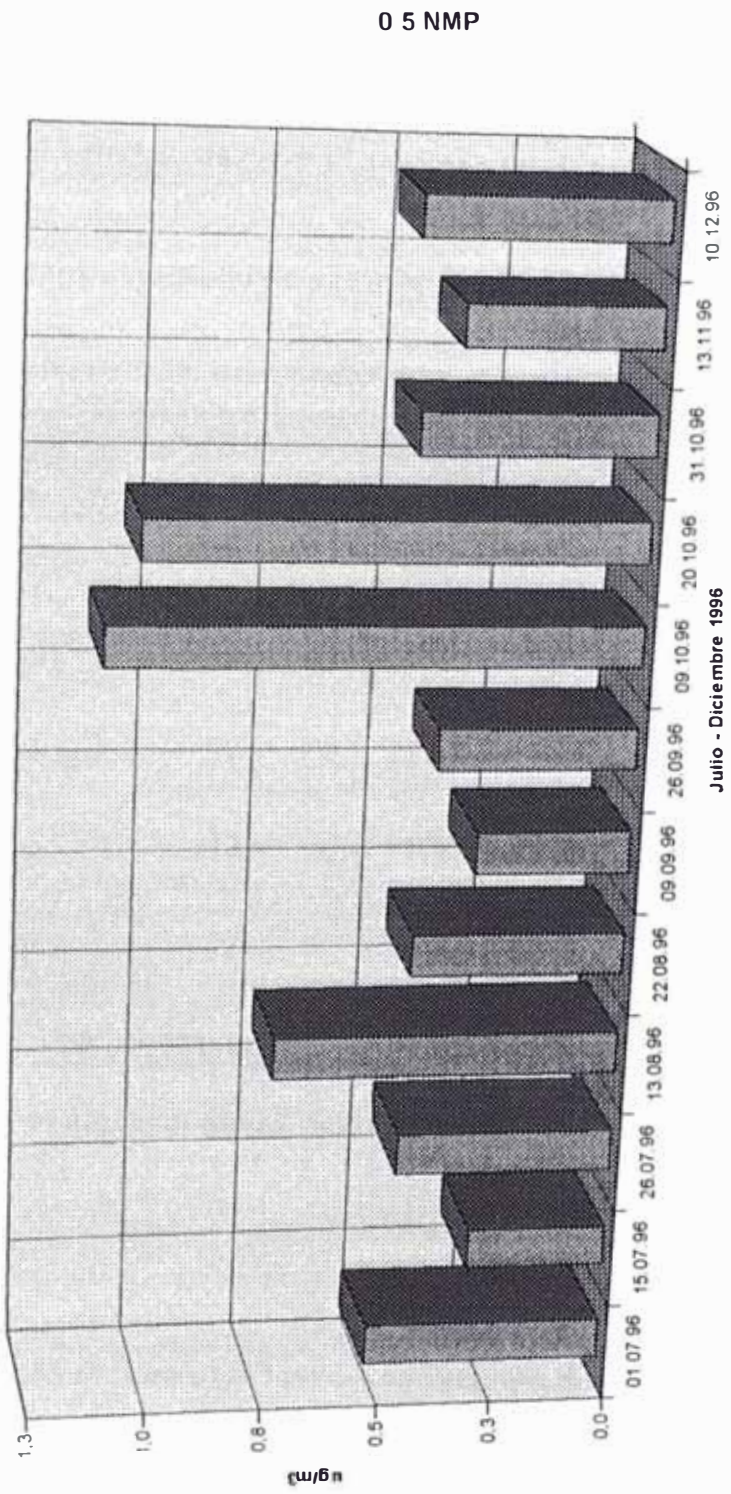


Figura N° 19 Histograma de las concentraciones de Plomo en la Av. Uruguay



5.2. Concentración de plomo en el Cercado de Lima Metropolitana

En la Tabla N° 33 se presenta el resumen global de los resultados obtenidos en el estudio, durante el período Junio a Diciembre de 1.996 mostrándose las concentraciones de plomo con sus valores promedio, máximo y mínimo, expresado en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabla N° 32. Resultados generales del Estudio

Estación de muestreo	Número de muestras	Promedio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Máximo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Mínimo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Todas las estaciones	48	0,6	1,6	0,1
Av. Abancay (E - 1)	12	0,8	1,3	0,3
Plaza Grau (E - 2)	12	0,5	1,2	0,2
Av. Tacna (E - 3)	12	0,6	1,6	0,1
Av. Uruguay (E - 4)	12	0,6	1,1	0,3
Límite Máximo Permisible: $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (*)				

(*) Promedio aritmético anual según los lineamientos de la OMS y DIGESA, 1.997

Discusión:

En la Tabla N° 33 se presentan las concentraciones de plomo en el Cercado de Lima Metropolitana, con sus valores promedio, máximo y mínimo, expresados en $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con fluctuaciones entre 0,8 y $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Aquí, se aprecia que el valor del promedio global de las 48 muestras es de $0,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ lo cual excede en un 20% al límite de la calidad del aire, de donde podemos colegir que en el área de estudio existe una contaminación moderada. Sin duda, esta contaminación por plomo se debe básicamente a los gases de combustión emanadas por los abundantes automotores que circulan cerca a las estaciones de muestreo.

El mayor valor de los promedios parciales se obtuvo en la estación de muestreo E-1 ubicada en la Av. Abancay, la cual se encuentra en una zona clasificada como comercial. En esta estación se encontró $0,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de plomo, superando en un 60% al límite aceptable. Las características de las demás zonas donde se encuentran las otras estaciones de muestreo son similares entre ellas pues existe un nutrido tránsito vehicular especialmente por la Av. Tacna y la Plaza Grau, cuya frecuencia se incrementa notablemente en las horas punta, entre las 16:00 y 20:00 horas; asimismo los vientos encajonados por los edificios existentes favorecen la acumulación del contaminante en estas zonas.

En las estaciones E-3 y E-4, correspondientes a la Av. Tacna y Uruguay, respectivamente alcanzaron el mismo nivel de contaminación con $0,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sobrepasando en ambos casos el límite de la calidad del aire recomendado. La mínima concentración de plomo se obtuvo en la estación E-2 ubicada en la Plaza Grau, a pesar que en este punto convergen una gran cantidad de automotores produciéndose tediosos embotellamientos, aunque la dispersión de los contaminantes en esta zona son más óptimas que en las demás estaciones. La concentración determinada en esta estación es de $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ valor similar al estándar de comparación. Una observación importante es que de las cuatro estaciones de evaluación, en tres de ellas los niveles de plomo son mayores al límite establecido.

Asimismo los valores máximo y mínimo de los valores promedio global fluctúan entre 1,6 y 0,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Por otro lado en las Figuras N° 09 y 10 se aprecia gráficamente las concentraciones promedio global.

Figura N°20. Valores promedio de concentración de Plomo en el Cercado de Lima

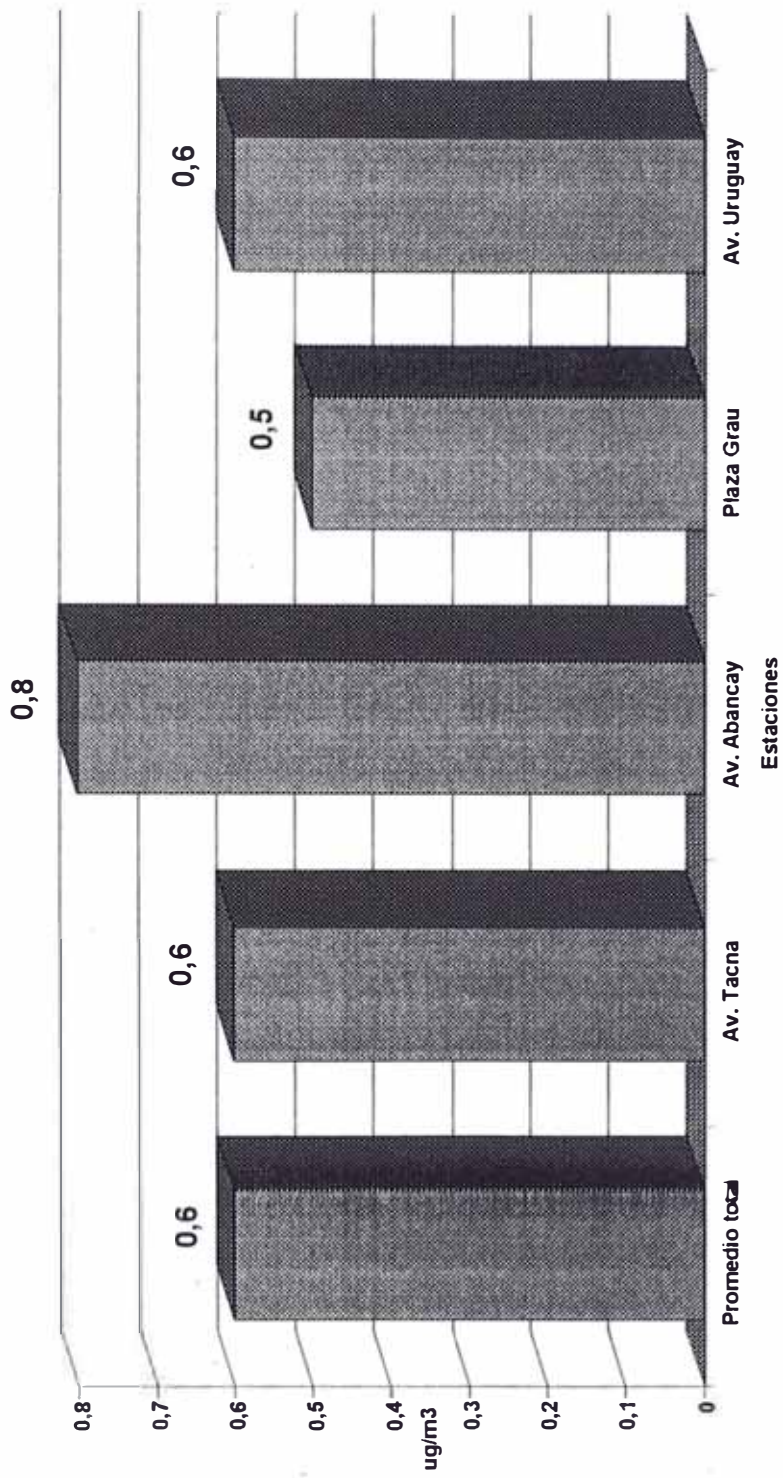
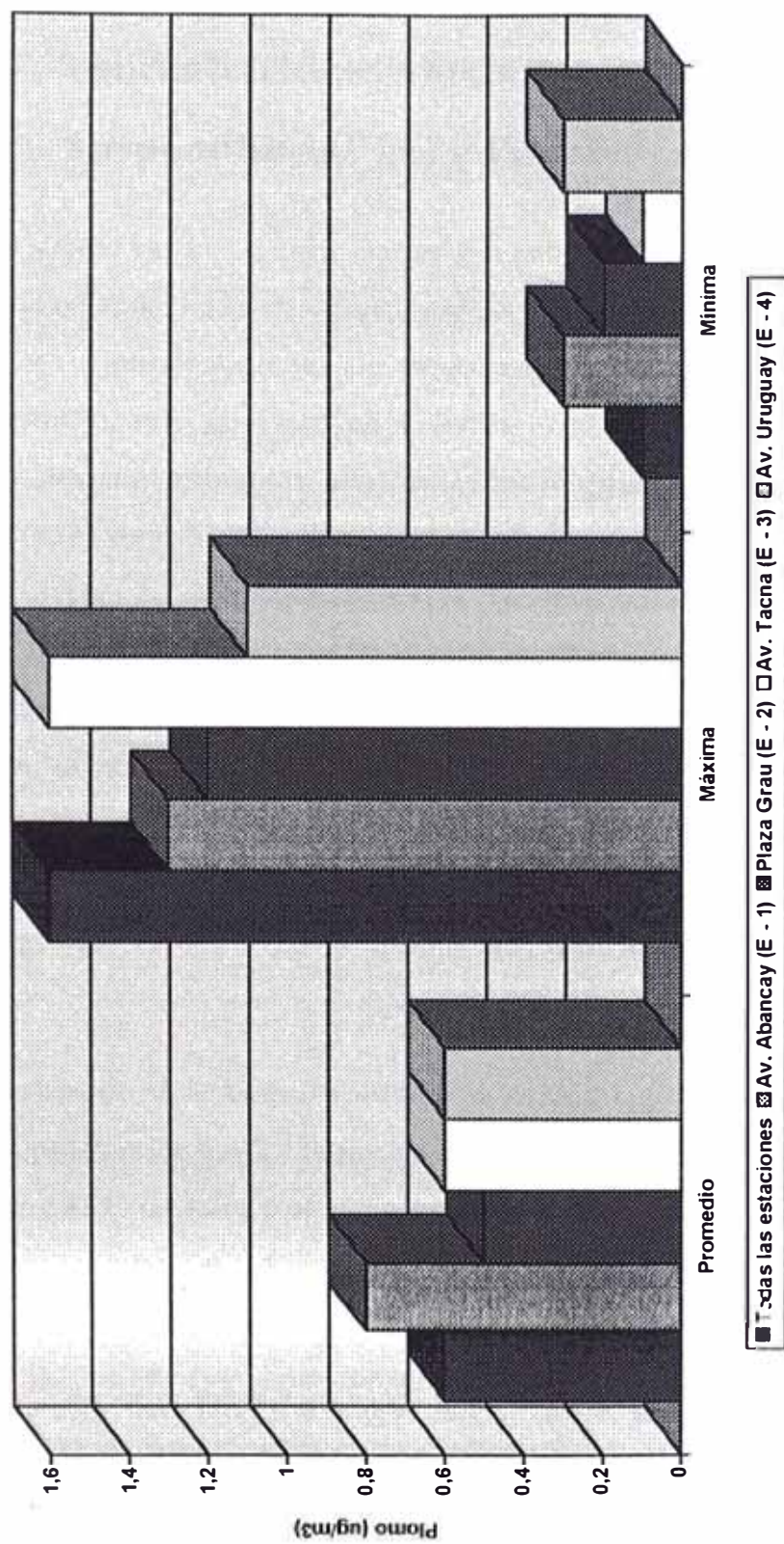


Figura N° 21. Valores promedio, máximo y mínimo de Plomo en el Cercado de Lima



5.3. Cuadro comparativo de las concentraciones obtenidas de partículas suspendidas (PTS) y Plomo.

La tendencia de los valores determinados y mostrados en la Tabla N° 34 es de una correlación entre las concentraciones de los agentes PTS y PLOMO en las cuatro estaciones de muestreo establecidas, durante el período de estudio, apreciándose que no existe una relación directa entre estos dos agentes contaminantes, analizadas individualmente o por cada muestra en el área de estudio; salvo en algunos casos en que sí se da esta correlación directa, es decir que a mayor concentración de partículas colectadas (PTS), mayor será la concentración de Plomo; esta hipótesis en general no siempre se cumple, puesto que las concentraciones de Plomo determinados en cada lugar durante el Estudio dependen de muchos factores o eventos que se dan en cada estación de muestreo; entre ellos la frecuencia vehicular, las variables meteorológicas, el tipo y consumo de gasolina con plomo por el parque automotor que transita por este ámbito, entre otros.

La aparente relación directa entre estos dos contaminantes se dan por ejemplo en algunas muestras tomadas en la estación E-3, de la Av. Tacna, realizadas entre el 11 de Julio y el 12 de Agosto de 1.996, sin embargo esta correlación no se cumple entre las muestras tomadas el 10 y 20 de Octubre, en la misma estación.

De igual modo en la estación de muestreo E-4 de la Av. Uruguay se puede apreciar que tampoco se cumple esta aparente relación directa puesto que se ha determinado una concentración de Plomo de $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en diferentes concentraciones de PTS, las que se aprecian en la Tabla N° 34 en las muestras del 11 de Julio, 12 de Agosto, 05 de Setiembre, 01 y 25 de

Noviembre de 1.996, donde se alcanzaron concentraciones de 204, 191, 182, 232 y 173 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente.

En la estación E-2 de la Plaza Grau también se da un caso similar a la estación E-1, donde se aprecia que no siempre se cumple la relación directa entre estos dos agentes analizados.

Sin embargo, en las muestras analizadas entre el 11 de Julio y el 05 de Agosto de 1.996 en la estación E-1 de la Av. Abancay, se cumple esta relación directa; obteniéndose valores de PTS de 184, 268, 380 y 208 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en las cuales se determinaron 0,6; 0,7; 1,1 y 0,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PLOMO, respectivamente.

En suma podemos afirmar que al establecer una relación directa entre las concentraciones de los agentes PLOMO y PTS en forma particular o individual, notamos que esto no siempre se cumple, pero al establecer la misma relación en forma global, teniendo en cuenta las 48 muestras de PTS y PLOMO que comprende el Estudio, si se cumple una relación de proporcionalidad directa, tal como se detalla en el Capítulo 9 (Anexos) y constituye una valiosa información en nuestra presente investigación.

Tabla N° 33. Concentraciones de PTS y PLOMO en el periodo de Estudio en el Cercado de Lima

Av. Tacna		Av. Abancay		Plaza Grau		Av. Uruguay		
Fecha	PTS µg/m3	Plomo µg/m3	Fecha	PTS µg/m3	Plomo µg/m3	Fecha	PTS µg/m3	Plomo µg/m3
11.07.96	297	0,7	27.06.96	184	0,6	18.07.96	201	0,2
21.07.96	118	0,4	08.07.96	268	0,7	28.07.96	226	0,4
12.08.96	110	0,2	19.07.96	380	1,1	09.08.96	153	0,5
23.08.96	149	0,2	29.07.96	208	0,6	15.08.96	160	0,7
05.09.96	231	0,6	07.08.96	237	1,0	26.08.96	189	0,5
16.09.96	177	0,4	18.08.96	263	0,3	06.09.96	124	0,2
01.10.96	298	0,4	21.08.96	300	1,3	17.09.96	203	0,3
10.10.96	366	1,2	03.09.96	208	0,6	27.09.96	146	0,4
20.10.96	263	1,6	18.09.96	255	0,3	09.10.96	289	0,4
01.11.96	331	0,7	02.10.96	299	1,0	21.10.96	283	1,2
14.11.96	133	0,1	10.10.96	306	1,1	12.11.96	141	0,6
25.11.96	200	0,4	04.11.96	273	0,8	2.11.96	226	0,8
						01.07.96	204	0,5
						15.07.96	163	0,3
						26.07.96	191	0,5
						13.08.96	157	0,7
						22.08.96	182	0,5
						09.09.96	179	0,3
						26.09.96	224	0,4
						09.10.96	399	1,1
						20.10.96	288	1,0
						31.10.96	232	0,5
						13.11.96	137	0,4
						10.12.96	173	0,5

6. Conclusiones

1. El estudio realizado ha permitido obtener una información valiosa acerca de la Calidad del aire de la zona urbana de Lima Metropolitana, cuyos resultados demuestran que en el Cercado de Lima existe una contaminación moderada por el parámetro plomo que se debe básicamente al elevado tránsito y congestionamiento del parque automotor.
2. El área de estudio corresponde a la clasificación de una zona comercial y residencial, donde se seleccionaron los lugares más críticos para fijar las estaciones de muestreo, siendo estas la Av. Abancay (E-1), Plaza Grau (E-2), Av. Tacna (E-3) y Av. Uruguay (E-4), donde la fuente móvil (parque automotor) es básicamente la causa de contaminación atmosférica por plomo; de estas zonas y en menor grado las fuentes fijas (parque industrial)
3. Al año de 1.996 el 80,32% del parque automotor de Lima está constituido por vehículos a gasolina, le sigue con 9,10% las unidades a petróleo. La combustión de la gasolina de 84 y 95 octanos que contienen el tetraetilo de plomo (TEL) como un aditivo antidetonante, es la causa principal de las emisiones de plomo que se emiten por los tubos de escape de los vehículos, contaminando el medio ambiente urbano, situación que se agrava por la antigüedad del parque automotor de Lima Metropolitana.
4. Los resultados obtenidos en las zonas de muestreo donde se ubicaron cuatro estaciones de monitoreo y se tomaron 48 muestras que constituyeron el estudio, han mostrado una concentración promedio global de 0,6 microgramos de plomo

por metro cúbico de aire ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), excediendo en un 20% al límite de la calidad del aire ($0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) recomendado por las autoridades de salud del País e Instituciones Internacionales; de donde podemos inferir la presencia de una contaminación atmosférica evidente en el ámbito de estudio, problema se va agravando por diversas causas, como: continuos embotellamientos, lentitud en el tránsito vehicular, proliferación de vendedores ambulantes, semáforos en mal estado y otros factores indirectos como son los meteorológicos y topográficos.

5. En la estación de muestreo E-1 ubicada en la Av. Abancay se obtuvo la mayor concentración de plomo con un valor de $0,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ que supera en un 60% al límite de referencia, lo cual es atribuible a la alta frecuencia vehicular debido a la gran demanda de automotores de transporte urbano y a la pobre ventilación del lugar por los efectos dinámicos de los edificios existentes en esta importante avenida.

Las Figuras N° 12 y 13 mostraron que diez (83,3 %) de las 12 muestras tomadas fueron mayores al límite permisible, denotando el grado de contaminación atmosférica de esta zona.

6. En la estación E-3 fijada en la Av. Tacna los resultados evidenciaron una concentración promedio de $0,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ siendo este valor ligeramente superior al límite de calidad del aire ($0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) que nos demuestra que en esta zona existe una contaminación moderada por plomo que en menor magnitud es debida a factores similares a los señalados anteriormente. Cabe resaltar que el 40 % de las concentraciones obtenidas en esta estación de muestreo de la Av. Tacna fueron mayores que el límite en referencia, lo cual se ha podido apreciar en las Figuras

Nº 16 y 17; debemos mencionar que en este lugar se obtuvo el nivel más alto de plomo en el mes de Octubre.

7. En la estación E-4 ubicada en la Av. Uruguay también se determinó una concentración de plomo igual a $0,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Este valor refleja que en este lugar el nivel de contaminación también es moderado al superar al estándar establecido en un 20 % de su valor. Cabe señalar, que tres (25 %) de las 12 muestras tomadas en esta zona mostraron concentraciones mayores al límite de la calidad del aire, denotando una contaminación atmosférica más moderada.
8. El grado de contaminación por plomo atmosférico en la Plaza Grau mostró un valor similar al límite de la calidad del aire recomendado, es decir, una concentración de $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a pesar que la frecuencia vehicular en esta zona es alta por la gran convergencia de automotores provenientes de varias vías importantes: Vía Expresa, Paseo Colón, Av. Grau y Paseo de la República. Este resultado nos demuestra la interacción entre los contaminantes y los fenómenos meteorológicos; en efecto, la dispersión de los contaminantes en este lugar es más favorable por ser una zona abierta con una mayor ventilación; sin embargo estas concentraciones obtenidas en la Plaza Grau también constituyen una advertencia de un avance de la contaminación del aire por el plomo y otros agentes contaminantes.

Las Figuras Nº 14 y 15 nos permiten apreciar que tan sólo tres (25 %) de las 12 muestras tomadas fueron mayores al límite permisible, lo cual permite aseverar que esta zona es la de menor contaminación atmosférica por este parámetro ambiental.

9. El comportamiento de los parámetros meteorológicos durante el período de estudio fue de características normales con vientos de relativa calma especialmente en las estaciones de muestreo E-1 y E-3 de la Av. Abancay y Tacna, respectivamente registrándose una temperatura media semestral de 17,5°C y una humedad relativa promedio de 86%. Cabe señalar que el estudio se realizó durante las estaciones de invierno y primavera con un clima invernal moderado con ligeras garúas y un descenso de la temperatura ambiente al anochecer. Asimismo en este período se registraron vientos con dirección predominante del sur este con velocidades variadas en cada estación de muestreo, siendo en la Plaza Grau y la Av. Uruguay las de mayor intensidad alcanzando un valor promedio de 4,5 m/s.
10. Como conclusión global debemos señalar que de las cuatro estaciones de muestreo de la red manual que ha comprendido el estudio realizado, en tres de ellas excedieron al límite de calidad del aire, con concentraciones de plomo de 0,8; 0,6 y 0,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente y en la cuarta estación se igualó al nivel máximo permisible, lo cual nos demuestra que el área urbana del Cercado de Lima Metropolitana estudiada, mantiene un deterioro de la calidad del aire y por ende un detrimento de la calidad de vida.
11. Al comparar los resultados obtenidos entre las concentraciones de los agentes PLOMO y PTS, no siempre se cumple la relación directa al analizar en forma individual y por estación; sin embargo al ser analizado en forma global las 48 muestras que comprende el Estudio, si se observa que se cumple esta relación, dándonos la evidencia que en el Cercado de Lima Metropolitana,

a mayor o menor concentración de partículas totales en suspensión (PTS), existe también mayor o menor concentración de PLOMO, respectivamente.

12. Finalmente, al comparar los resultados obtenidos en este estudio, con otras investigaciones realizadas en dos décadas anteriores, los resultados parecen ser contraproducentes al haberse determinado en los años de estudio lo siguiente:

1.974	1,98 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de Plomo	Lím. Permis. 2,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
1.997	0,60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de Plomo	Lím. Permis. 0,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Sin embargo al compararlo con los respectivos Límites Permisibles, que regían en los años de estudio, apreciamos que en la actualidad el riesgo es más evidente.

De otra parte los estudios realizados están mostrando que el grado de contaminación ha disminuido notablemente y esto es comprensible si tomamos en cuenta que en década pasadas el parque automotor en su mayor porcentaje funcionaban a gasolina de menor Octanaje o ("ron") y con aditivos mayores de Plomo Tetraetílico (TEL), asimismo, los automotores de ese entonces no tenían la tecnología actual, pues sus motores consumían una gran cantidad de combustible, por poseer un mayor cilindraje; esta aparente alta contaminación por Plomo obtenida en 1.974 es atribuible a muchos factores, entre ellos al avance tecnológico tanto en la fábrica de automotores como en el refinado de la gasolina, pues en ese entonces existían vehículos de 4 a más cilindros, cuyo consumo de gasolina con alto consumo de aditivo TEL era mayor. En la actualidad estos dos aspectos se han mejorado notablemente, pero el crecimiento de los automotores es más significativo.

7. Recomendaciones

Las conclusiones a los que hemos llegado en el estudio realizado nos motiva a dar un conjunto de Recomendaciones de carácter general, así como un Programa de Control para la Contaminación del aire por el agente Plomo, que se indican a continuación: $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

- Renovación y modernización del parque automotor creando mecanismos para la sustitución de la gasolina por GLP dando facilidades en su instalación y mostrando las ventajas de este sistema en cuanto a su rendimiento, precio por galón, costo por kilómetro, mantenimiento y reparación, siendo más beneficioso aquellos vehículos con adaptadores GLP. Asimismo, promover la importación de vehículos nuevos diseñados para el uso de la gasolina ecológica.
- Hacer una campaña de educación y capacitación en todos los niveles del sistema educativo con el fin de crear conciencia acerca de la importancia que tiene proteger el medio ambiente, sumando esfuerzos conjuntos para dar alternativas de solución al problema de la contaminación atmosférica que aqueja a nuestra ciudad Capital para garantizar la salud ambiental y por ende mejorar la calidad de vida de los habitantes.
- Hacer una permanente vigilancia ambiental ampliando la red de muestreo de Lima Metropolitana a cargo de las Instituciones involucradas en esta problemática, orientándose a la determinación de los PTS y sus contenidos de Plomo, con una tendencia que deberá ser el control de las emisiones generadas en las fuentes fijas y móviles.

- Planeamiento del transporte urbano promoviendo la utilización de ómnibus de mayor capacidad para el transporte de pasajeros, pues se ha demostrado que el consumo de combustible y, por tanto, la emisión de gases por pasajero/kilómetro transportado es una quinta parte comparado con el transporte en un vehículo de menor capacidad ó particular.
- Mejorar y modernizar la semaforización de las principales vías con la finalidad de reducir en forma significativa los frecuentes congestionamientos en el tránsito vehicular y peatonal.
- Realizar progresivamente evaluaciones de los efectos de la contaminación del aire por el plomo en la salud de la población, que debe motivarse mediante una información y participación pública, a través de los medios de difusión masiva.
- Promover el uso de la gasolina sin plomo, mediante Programas de incentivo económico a través del Estado o el sector competente para la reducción de las emisiones de plomo del parque automotor; asimismo se deben dar alcances para el empleo de combustibles alternativos y aditivos antihumos.
- Despertar el interés de las organizaciones nacionales e internacionales especializados en la Protección del Medio Ambiente, para el fomento de Planes regionales de Calidad del Aire y Salud, con énfasis en el contaminante plomo.
- Exhortar a todos los Industriales a través del Ministerio de Industrias (MITINCI) para que se adecuen a los Reglamentos de Protección Ambiental para el Control de sus emisiones gaseosas y particuladas.

- Hacer un control de las emisiones de plomo del parque automotor mediante un Programa de Control.
- Promover el uso de otros medios de locomoción dentro de la ciudad, por ejemplo el uso masivo de la bicicleta e incentivar las caminatas de la gente hacia su centro de trabajo.
- Retiro de la circulación, las unidades de transporte de pasajeros tipos combis o micros, y propender a su reemplazo por unidades de gran tamaño y capacidad.
- Concertación de los mecanismos de participación de los diferentes sectores del país, liderados por un Organismo especializado y responsable del mantenimiento y control del ambiente.

7.1. Programa de control para la contaminación atmosférica por plomo en el Cercado de Lima Metropolitana

7.1.1. Objetivo

Reducir o mitigar la Contaminación del Aire por el Agente químico plomo en el Cercado de Lima Metropolitana, para garantizar una Calidad del Aire aceptable.

7.1.2. Períodos de control

Para la aplicación del presente Programa de Control hemos diseñado tres períodos de control, que comprende el de corto plazo (de inmediata aplicabilidad), el de mediano plazo que comprende un período de aproximadamente 2 años y el de largo plazo (que

comprende de 5 años a más), cuyas recomendaciones son las siguientes:

7.1.2.1.A corto plazo:

1. Programas de incentivos económicos a cargo del Estado, mediante Normas Legales para la renovación del Parque Automotor obsoleto en forma progresiva.
2. Realizar una campaña para el uso de la gasolina ecológica, acompañado de un subsidio por parte del Gobierno Central o el Sector involucrado para facilitar el consumo de estos combustibles limpios.
3. Permanente mantenimiento e instalación adecuada de las señales de tránsito y semaforización de las vías, con equipamiento de garantía que satisfagan las exigencias de Calidad y Normas de Seguridad.
4. Una Reglamentación para la Inspección y mantenimiento periódico de vehículos d biéndose r activar y mejorar las Revisiones Técnicas Obligatorias del Parque Automotor.
5. Participación y Educación de los usuarios, incentivando los buenos hábitos de operación y conducción vehicular (llantas con adecuada presión, constante regulación de frenos, alineamiento de dirección, uso de aceites de grado adecuado sin exceso de viscosidad) para evitar el consumo excesivo de combustibles.

7.1.2.2.A mediano plazo:

1. Empleo de combustibles alternativos.

2. Renovación progresiva del parque automotor con unidades nuevas tengan con motores que funcionen a gasolina sin plomo y de encendido electrónico, para cuyo fin el Estado de crear mecanismos que faciliten la importación de estas unidades y limitar la libre importación de vehículos usados con antigüedad mayor a 5 años.
3. Que la autoridad ambiental revise y actualize los límites permisibles de exposición al plomo ambiental, con fines de prevención y control de este agente.
4. Establecer otras redes de monitoreo que permitan obtener datos inmediatos de la Calidad del Aire, incluyendo el contaminante plomo que determinen su concentración y variaciones con el fin de controlar, si el caso lo amerita.
5. Generalizar el uso de semáforos electrónicos que permitan mantener un adecuado tránsito vehicular.
6. Crear mecanismos que faciliten importar vehículos menos contaminantes.
7. Fomentar la conversión de los motores convencionales de los vehículos a motores que funcionen a base de GLP, a través de incentivos con apoyo del Estado.
8. Medidas destinadas a optimizar el transporte público masivo (retiro de unidades que circulan en el centro de Lima y creación de rutas alternas definidas en los alrededores del lugar crítico).
9. Rehabilitación, construcción y mantenimiento de la infraestructura vial como los pasos a desnivel, los intercambios, los túneles, etc.

10. Instalación de un sistema de transporte público masivo para todo el área Metropolitana de Lima que esté a cargo del Sector Privado dentro de un marco regulatorio mediante el Sector Estatal competente como el Ministerio de Transportes.

7.1.2.3.A largo plazo:

1. Retiro de la circulación de las áreas urbanas, de unidades con más de 10 años de antigüedad.
2. Eliminar la adición del aditivo antidetonante (TEL) en la gasolina de bajo octanaje, y promover el uso de la gasolina sin plomo mediante incentivos económicos.
3. Culminación de la obra del Tren Eléctrico de Lima o crear un transporte masivo de pasajeros.
4. Reglamentación de la libre importación de vehículos nuevos que cuenten con sistemas de funcionamiento adecuado para el uso de combustibles ecológicos.
5. Integración de políticas Metropolitanas (desarrollo urbano, transporte y ecología), acompañado de una Campaña educativa masiva.
6. Fomentar el uso de otros combustibles limpios como el etanol (alcohol), como es el caso de Brasil

8. Bibliografía

1. Agencia para el Desarrollo Internacional de Estados Unidos (USAID/Perú) en el marco del Proyecto “Manejo Sostenible del Medio Ambiente y los Recursos Naturales-SENREM” y Consejo Nacional del Ambiente (CONAM). Proyecto ECORRESCO. “Una evaluación comparativa de Riesgos Ambientales para la Salud en Lima Metropolitana”, Perú, 1.997.
2. ALCONSUL International Ltd. “Estudio concerniente a la eliminación de la gasolina con plomo en América Latina y El Caribe”, Revisión I, Canadá, 1.996.
3. Alvaro, G. “Criterios, pautas y normas de Calidad del Aire”, 1.987.
4. American Conference Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). “Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological”. Exposure Indices. USA, 1.994.
5. Anderson K. y Scott R. “Fundamental of Industrial Toxicology”, Michigan Ann Arbor, Science, Pub. 1.981.
6. ANUAMIN. “La minería en el Perú”, Lima, 1.996.
7. Atlas, 1.989. “Proyecto Especial Atlas del Perú”
8. Colección Ingeniería Medioambiental. “Ecología Industrial: Ingeniería medioambiental aplicada a la Industria y a la Empresa”, Manual para responsables medioambientales, España. 1.992.

9. Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA). "Anteproyecto del Plana de Prevención y Descontaminación de la Región Metropolitana" Lima, 1.997.
10. Como escribir y publicar trabajos científicos y como preparar el Título, Fotocopias de Texto.
11. Consejo Interamericano de Seguridad - Practiguía 2.064. "El plomo y la Salud", USA, 1.983.
12. Corey, O y Galvao, L. "Plomo, Serie Vigilancia 8", México, 1.989.
13. Fundación Natura. "Potencial Impacto Ambiental de las industrias en el Ecuador". Ecuador, 1.991.
14. Gastañaga, A. "Estudio preliminar de la Contaminación Atomosférica de la Gran Lima". Salud Ocupacional. Revista del Instituto de Salud Ocupacional-MSPAS, Vol VIII, Julio-Diciembre, 1.963 N° 2, Lima-Perú.
15. Industria Internacional. "Reutilización de Desperdicios peligrosos", USA, 1.985.
16. INEI, 1.995 "Instituto Nacional de Estadística e Informática".
17. Instituto de Salud Ocupacional. "Contaminación Atmosférica en Lima y La Oroya", 1.977.
18. Medio Ambiente. "Un informe del World watch Institute sobre el avance hacia una Sociedad sustentable" USA, 1.990.
19. MEM, 1.996 "Ministerio de Eneqía y Minas".

20. Ministerio de Energía y Minas- Dirección General de Asuntos Ambientales (MEM-DGAA). "Protocolo de monitoreo de Calidad del Aire y Emisiones), Lima, 1.994.
21. MTC, 1.997 "Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción". Programa de mejoramiento de la Calidad del Aire y retiro del plomo de las gasolinas, Lima, 1.997.
22. Nakaok, "Aminolevulinic acid dehidratase activity in erythrocytes for the evaluation of lead poisoning", 1.968.
23. OMS y OPS. "Criterios de Salud Ambiental 3-Plomo", 1.979.
24. Organización Mundial de la Salud (OMS). "Selección de procedimientos para medir la Contaminación del Aire", USA, 1.976.
25. Organización Mundial de la Salud(OMS) y Organización Panamericana de la salud (OPS). "Manual de Calidad del Aire en el Medio Urbano". Washington, D.C.-USA, 1.980.
26. Patrakhaltsetv, N. y Gorbunov. "Toxicidad de los Motores de Cobustión Interna", Lima, 1.993.
27. Petroperú. "Manual de combustibles", Arequipa, 1.995.
28. Pinzas, B. y Gastañaga, C. "Consideraciones sobre la Contaminación Atmosférica de la Gran Lima por vehículos motorizados" INSO (en la actualidad DIGESA), 1.964.
29. "Plant air el Control de Contaminación y el Retiro de plomo" DIGESA, 1.997.

30. Programa Integral contra la Contaminación Atmosférica en la zona Metropolitana de la ciudad de México. "Plomo, situación actual y avances en su control", 1.993.
31. Proyecto de Transporte Urbano para el Área Metropolitana de Lima y Callao. "La situación del transporte urbano en Lima y Callao", 1.997.
32. Ruiz, J. "Estudio preliminar de la Contaminación Atmosférica en La Oroya". Salud Ocupacional-MSPAS. Revista del Instituto de Salud Ocupacional, Vol X, Enero-Marzo, 1.965 N°1, Lima-Perú.
33. Sassas, L. al. Studies in Lead poisoning Y Microanalysis of Erythrocyte protoporphyrin levels by spectro fluorometry in the detection of chronic. Biochem. Med, 1.973.
34. Seminario Internacional. "Medio ambiente y Emisiones vehiculares", PETROPERÚ, 1.997.
35. Unger, T. "Contaminación vehicular y medios para reducirla". Seminario Internacional, PETROPERÚ, 1.997.
36. Veracruz-Coatzacoalcos. "Contaminación por Plomo en habitantes ". Junio, 1.980.
37. Vences, A. "Contaminación Ambiental y Defensa Ecológica de Lima", 1.993.
38. Vizcarra, A. "La Atmósfera contaminada y sus Relaciones con el Público-Tecnósfera", 1.982.