

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**“EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN  
LA ESTACIÓN CIENTÍFICA ANTÁRTICA MACHU PICCHU  
POR OZONO, DIÓXIDO DE NITRÓGENO, DIÓXIDO DE  
AZUFRE, MATERIAL PARTICULADO CON DIÁMETRO  
AERODINÁMICO MENOR A 10 MICRÓMETROS Y RUIDO”**

**TESIS**

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

**PRESENTADO POR:**

**ADRIAN ALONSO MOSCOSO BIEBERACH**

**LIMA, PERÚ**

**AÑO 2009**

DEDICATORIA

A MIS PADRES, HERMANOS Y AISLING.

## AGRADECIMIENTOS

- INSTITUTO ANTÁRTICO PERUANO, MINISTERIO DE RELACIONES EXTERIORES
- INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL, UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
- LABORATORIO DE INGENIERIA DE HIGIENE Y SEGURIDAD INDUSTRIAL, UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
- DIRECCIÓN GENERAL DE SALUD AMBIENTAL, MINISTERIO DE SALUD
- ING. JUAN NARCISO CHAVEZ, DOCENTE DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA Y ASESOR DE LA PRESENTE TESIS
- JOSE LUIS PONCE, TÉCNICO DE LA MARINA DE GUERRA DEL PERÚ
- ING. MANUEL VIZCARRA ANDREU E ING. JORGE VILLENA, DOCENTES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA, POR LAS CONSULTAS REALIZADAS PERSONALMENTE.
- Y POR LAS CONSULTAS REALIZADAS POR CORRESPONDENCIA ELECTRÓNICA A DR. MERCY BORBOR (EE.UU.), DR. GERARDO MEJÍA (MÉXICO), DR. RODOLFO SOSA (MÉXICO), AL CHARLTON (REINO UNIDO) Y DERRICK CHAMPTON (REINO UNIDO).

### Ilustración 1: El autor en la Estación Científica Antártica Machu Picchu



## RESUMEN

La Estación Científica Antártica Machu Picchu (ECAMP), situada en la Bahía Almirantazgo, Isla Rey Jorge y con las coordenadas siguientes: LAT 62°05'29" S, LONG 58°28'16 O, alberga a las expediciones peruanas que anualmente visitan la Antártida con el objetivo de realizar investigación científica.

Durante la décimo séptima expedición, Antar XVII, se realizó el primer estudio de la calidad del aire en la zona. Esta tesis comprende el reconocimiento, la descripción y evaluación de los niveles ambientales de ozono, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre, material particulado con diámetro menor a 10 micrómetros y ruido generados por las actividades humanas en la Estación Científica Antártica Machu Picchu.

## ABSTRACT

The Machu Picchu Antarctic Scientific Station (ECAMP, in Spanish), located in the Admiralty Bay, King George Island, with the following coordinates: 62°05'29" S, 58°28'16 W, hosts Peruvian Expeditions that annually visit Antarctica with the objective of performing scientific research.

During, the 17<sup>th</sup> expedition Antar XVII, the first Air Quality study was done. This thesis includes the recognition, description and assessment of the environmental levels of ozone, nitrogen dioxide, particulate matter with aerodynamic diameter less than 10 micrometers and noise, generated by the human activities in the Machu Picchu Antarctic Scientific Station.

## Índice general

<b>1. Introducción .....</b>	<b>1</b>
1.1. <i>Antecedentes</i> .....	3
1.2. <i>Planteamiento del Problema</i> .....	3
1.3. <i>Objetivos</i> .....	4
1.4. <i>Hipótesis</i> .....	4
<b>2. Ubicación geográfica y descripción .....</b>	<b>4</b>
2.1. <i>Receptores de la contaminación</i> .....	7
2.2. <i>Condiciones prevalecientes durante las mediciones</i> .....	12
2.2.1. <i>Condiciones atmosféricas</i> .....	12
2.2.2. <i>Naturaleza y estado del terreno</i> .....	19
<b>3. Normas Legales y Técnicas aplicables .....</b>	<b>21</b>
3.1. <i>El Tratado Antártico</i> .....	21
3.2. <i>El Comité Científico para la Investigación Antártica</i> .....	23
3.3. <i>Política Nacional Antártica</i> .....	24
3.4. <i>Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire</i>	25
3.5. <i>Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU. (USEPA)</i> .....	27
3.6. <i>Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para</i> <i>Ruido</i> .....	29
3.7. <i>Guías de Calidad del Aire por la Oficina Regional de Europa de la</i> <i>Organización Mundial de la Salud (OMS-Europa), Actualización Mundial 2005.</i> .....	31
3.8. <i>Guías de Calidad del Aire para la protección de la Vegetación y</i> <i>Ecosistemas por Reino Unido, España y OMS-Europa.</i> .....	32
3.9. <i>Comparación entre estándares y guías de Calidad del Aire del Perú,</i> <i>OMS, Australia, Estados Unidos, España y Reino Unido para la protección de</i> <i>la salud y de los ecosistemas.</i> .....	35

3.10. Reglamento sobre Valores Límites Permisibles para agentes químicos en Ambiente de Trabajo .....	38
3.11. Normas Técnicas de la Organización Internacional para la Estandarización .....	40
<b>4. Marco Teórico .....</b>	<b>41</b>
4.1. Gases contaminantes: dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre y ozono; relación con la atmósfera y técnica de muestreo .....	41
4.1.1. Reacciones en la atmósfera.....	44
4.1.1.1. Reacciones de los óxidos de nitrógeno .....	44
4.1.1.2. Reacciones de los óxidos de azufre .....	45
4.1.1.3. Reacciones del oxígeno y ozono .....	45
4.1.2. Procesos de asimilación y remoción de contaminantes del aire ....	46
4.1.2.1. Asimilación y remoción de óxidos de nitrógeno .....	46
4.1.2.2. Asimilación y remoción de óxidos de azufre .....	47
4.1.2.3. Asimilación y remoción de ozono .....	47
4.1.3. Efectos biológicos por inhalación y deposición aérea .....	48
4.1.3.1. Efectos sobre las aves y mamíferos salvajes (inhalación) .....	48
4.1.3.2. Efectos sobre los líquenes (deposición aérea) .....	50
4.1.4. Aplicación de toxicología, epidemiología y ecotoxicología a las guías de calidad del aire. ....	53
4.1.5. Método de muestreo por tubos de difusión .....	63
4.1.5.1. Teoría de operación .....	64
4.1.6. Técnica del muestreo de dióxido de nitrógeno por difusión.....	66
4.1.7. Técnica del muestreo de ozono por difusión.....	70
4.1.8. Técnica del muestreo de dióxido de azufre por difusión.....	72
4.1.9. Estimación de distribución espacial de los contaminantes .....	73
4.2. Física de las partículas en el aire y técnica de medición.....	75
4.2.1. Efectos de la contaminación por partículas .....	77
4.2.2. Técnica del muestreo del aire .....	79
4.2.2.1. Definiciones.....	82
4.2.2.2. Principio .....	83
4.2.2.3. Requisitos de instrumentación.....	84

4.2.2.4.	Posibles fuentes de error.....	88
4.2.2.5.	Cálculos .....	89
4.3.	<i>Medida y Análisis del Ruido</i> .....	91
4.3.1.	Niveles sonoros y decibeles.....	92
4.3.2.	Relaciones entre medidas de niveles sonoros .....	93
4.3.3.	Análisis Espectral.....	94
4.3.4.	Sonómetros y escalas de ponderación .....	98
4.3.5.	Propagación y atenuación del sonido.....	102
4.3.5.1.	Cálculo de la potencia sonora .....	102
4.3.5.2.	Atenuación por divergencia geométrica.....	102
4.3.5.3.	Atenuación por absorción atmosférica.....	104
4.3.5.4.	Atenuación por el terreno .....	104
4.3.5.5.	Corrección por directividad.....	105
4.3.6.	Estudio de ruido ambiental bajo norma ISO 1996 y aplicación del modelo de la norma ISO 9613-2 .....	109
<b>5.</b>	<b>Evaluación de la contaminación por ozono, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre .....</b>	<b>113</b>
5.1.	<i>Instrumentación y materiales</i> .....	113
5.2.	<i>Actividades</i> .....	114
<b>6.</b>	<b>Evaluación de Material Particulado con diámetro menor a 10 micrómetros en la Estación Científica Antártica Machu Picchu.....</b>	<b>118</b>
6.1.	<i>Instrumentación y materiales</i> .....	119
6.1.1.	Medio Separador: Cabezal de PM-10 .....	123
6.2.	<i>Actividades</i> .....	125
6.2.1.	Medio Colector: Filtros .....	126
6.2.2.	Procedimiento de preparación de muestras.....	127
6.2.3.	Procedimiento general de toma de muestras .....	127
6.3.	<i>Parámetros de muestreo</i> .....	127
6.4.	<i>Calibración</i> .....	128
6.5.	<i>Análisis Gravimétrico</i> .....	129

<b>7. Evaluación de Ruido Ambiental en la Estación Científica Antártica</b>	
<b>Machu Picchu.....</b>	<b>131</b>
7.1. <i>Instrumentación</i> .....	131
7.2. <i>Calibración</i> .....	135
7.3. <i>Procedimiento de medición</i> .....	136
7.3.1. <i>Posición de las mediciones</i> .....	139
7.3.2. <i>Datos de la emisión de la fuente de ruido</i> .....	141
<b>8. Resultados .....</b>	<b>144</b>
8.1. <i>Resultados de la Evaluación de Gases</i> .....	144
8.2. <i>Resultados de la Evaluación de Material Particulado con Diámetro Aerodinámico Menor a 10 micrómetros</i> .....	147
8.3. <i>Resultados de la Evaluación de Ruido</i> .....	149
<b>9. Discusión de resultados.....</b>	<b>158</b>
<b>10. Conclusiones .....</b>	<b>172</b>
10.1. <i>Ozono (O<sub>3</sub>)</i> .....	172
10.2. <i>Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>)</i> .....	172
10.3. <i>Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)</i> .....	172
10.4. <i>Material Particulado con diámetro aerodinámico menor a 10 micrómetros</i> .....	173
10.5. <i>Ruido Ambiental</i> .....	173
<b>11. Recomendaciones.....</b>	<b>174</b>
<b>12. Fuentes de Información .....</b>	<b>176</b>
<b>13. Apéndices .....</b>	<b>179</b>



## Índice de ilustraciones

Ilustración 1: El autor en la Estación Científica Antártica Machu Picchu.....	iii
Ilustración 2: Posición geográfica del ECAMP y Lima, vista desde el espacio.....	5
Ilustración 3 : Vista satelital de la Isla del Rey Jorge .....	6
Ilustración 4: Nido de gaviotín antártico.....	8
Ilustración 5: Gaviotín antártico en vuelo.....	9
Ilustración 6: El autor rodeado de pingüinos de barbijo .....	9
Ilustración 7: Dos pingüinos Papúa y un pingüino de barbijo.....	10
Ilustración 8: Skúa antártico. ....	10
Ilustración 9: Skúa antártico en vuelo.....	11
Ilustración 10: Liqen antártico. ....	11
Ilustración 11: Rosa de Vientos en el ECAMP.....	16
Ilustración 12: Día nevado en el ECAMP .....	17
Ilustración 13: Día nublado en el ECAMP .....	18
Ilustración 14: Día soleado en el ECAMP.....	18
Ilustración 15: Verificación de las condiciones ambientales in-situ.....	19
Ilustración 16: Musgos y líquenes antárticos en el área ocupada por ECAMP ...	20
Ilustración 17: Vista del helipuerto y el módulo de emergencia del ECAMP .....	20
Ilustración 18: Diagrama esquemático del muestreador de NO <sub>2</sub> .....	68
Ilustración 19: Diagrama esquemático del muestreador de Ozono.....	71
Ilustración 20: Diagrama esquemático del muestreador de SO <sub>2</sub> .....	73
Ilustración 21: Convenciones de masa de partículas ISO .....	82
Ilustración 22: Rendimiento de muestreador PM-10 ideal .....	87
Ilustración 23: Espectro acústico en bandas de octava .....	96
Ilustración 24: Espectro acústico en banda de tercios de octava.....	97
Ilustración 25: Curvas experimentales de igual sonoridad.....	99
Ilustración 26: Curva de ponderación A.....	100
Ilustración 27: Ley de inversa del cuadrado .....	102
Ilustración 28: Esquema de influencia del suelo.....	105
Ilustración 29: Directividad por fuente (D) .....	107
Ilustración 30: Patrones de directividad por medio (Q) .....	108
Ilustración 31: Tubos de difusión pasiva utilizados .....	113

Ilustración 32: Canastillas de PVC ensamblado a listón de madera .....	114
Ilustración 33: Cava de hoyos para la instalación de puntos de muestreo.....	115
Ilustración 34: Instalación de muestreadores pasivos en punto de muestreo ...	116
Ilustración 35: Punto de muestreo instalado cerca a módulo de fuerza “Mod. Fuerza” .....	117
Ilustración 36: Punto de muestreo ubicado a 10 metros de ECAMP “Frente Base” .....	118
Ilustración 37: Torre de muestreo PM-10 .....	119
Ilustración 38: PM-10 .....	119
Ilustración 39: Construcción de la torre soporte del PM-10 .....	120
Ilustración 40: Instalación del PM-10.....	120
Ilustración 41: PM-10 en Punto ‘Frente de Base’ .....	121
Ilustración 42: PM-10 en Punto ‘Mod. Fuerza’ .....	121
Ilustración 43: Esquema de funcionamiento MiniPartisol PM-10 .....	122
Ilustración 44: Partes del Cabezal PM-10 .....	123
Ilustración 45: Ensamblaje Partes del Cabezal PM-10 .....	123
Ilustración 46: Esquema de funcionamiento del cabezal PM-10 MiniPartisol ...	124
Ilustración 47: Rendimiento de MiniPartisol.....	125
Ilustración 48: Carta de calibración de campo MiniPartisol 2100.....	128
Ilustración 49: Balanza analítica y accesorios para el pesado de las muestras	129
Ilustración 50: Acondicionamiento (Desección) de los filtros para bajo volumen .....	130
Ilustración 51: Registros de verificación de balanza y acondicionamiento de filtros .....	130
Ilustración 52: Equipo de monitoreo de ruido utilizados.....	137
Ilustración 53: Medición de niveles de ruido.....	138
Ilustración 54: Medición de NPSA a 40 metros del generador eléctrico .....	140
Ilustración 55: Espectro acústico de la fuente .....	141
Ilustración 56: Directividad del sistema .....	143
Ilustración 57: Filtros utilizados en el muestreo .....	147
Ilustración 58: Gráfica que correlaciona los NPSA y los niveles de presión sonora estimados bajo el modelo para el ángulo de 0° .....	149
Ilustración 59 Gráfica que correlaciona los NPSA y los niveles de presión sonora estimados bajo el modelo para el ángulo de 45. ....	150

Ilustración 60 Gráfica que correlaciona los NPSA y los niveles de presión sonora estimados bajo el modelo para el ángulo de 90° .....	151
Ilustración 61 Gráfica que correlaciona los NPSA y los niveles de presión sonora estimados bajo el modelo para el ángulo de 135° .....	152
Ilustración 62 Gráfica que correlaciona los NPSA y los niveles de presión sonora estimados bajo el modelo para el ángulo de 180° .....	153
Ilustración 63 Gráfica que correlaciona los NPSA y los niveles de presión sonora estimados bajo el modelo para el ángulo de 225° .....	154
Ilustración 64 Gráfica que correlaciona los NPSA y los niveles de presión sonora estimados bajo el modelo para el ángulo de 270° .....	155
Ilustración 65 Gráfica que correlaciona los NPSA y los niveles de presión sonora estimados bajo el modelo para el ángulo de 292.5 .....	156
Ilustración 66 Gráfica que correlaciona los NPSA y los niveles de presión sonora estimados bajo el modelo para el ángulo de 315. ....	157

## Índice de Tablas

Tabla 1: Resumen de las observaciones meteorológicas de superficie DIRMA .	13
Tabla 2: Resumen de los datos meteorológicos tomados por SENAMHI durante la expedición Antar XVII.....	14
Tabla 3: Estándares de Calidad de Aire según D.S. 074-2001-PCM.....	26
Tabla 4: Normas Técnicas Peruanas de Calidad del Aire Aplicables .....	28
Tabla 5: Límites Máximos Permisibles de Ruido Ambiental .....	30
Tabla 6: Guías de la Calidad de por la Oficina Regional de Europa de la Organización Mundial de la Salud (OMS-Europa), Actualización Mundial 2005.	32
Tabla 7: Guía de Niveles Críticos sobre la Vegetación, Organización Mundial de la Salud, 2000.....	33
Tabla 8: Guías de la Calidad de Aire del Reino Unido para la protección de vegetación y ecosistemas, Julio 2007 .....	33
Tabla 9: Valores límite para la protección de ecosistemas, Real Decreto 1073/2002, Octubre 2002 .....	34
Tabla 10: Comparación entre Estándares y Guías de Calidad del Aire del Perú, OMS-Europa, Australia, Estados Unidos, España y Reino Unido, y valores referenciales de concentración natural para O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> y PM-10.....	36
Tabla 11: Comparación entre Guías de Calidad del Aire para la protección de vegetación y/o ecosistemas de Reino Unido, España y la Organización Mundial de la Salud.....	37
Tabla 12: Valores Límites Permisibles para agentes químicos seleccionados en el ambiente de trabajo (DS 015-2005-SA).....	39
Tabla 13: Valores de Respiración por defecto por la EPA.....	60
Tabla 14: Obtención de una Concentración de Referencia de Ozono para corto plazo (24 horas - 30 días) .....	61
Tabla 15: Comparación entre las partículas inerciales y las partículas finas .....	78
Tabla 16: Convenciones ISO .....	81
Tabla 17: Especificaciones de rendimiento para muestreadores PM-10 .....	85
Tabla 18: Concentración de masa esperada por muestreador PM-10.....	86
Tabla 19: Ubicación del muestreador PM-10 .....	87
Tabla 20: Parámetros de medición de ruido.....	93
Tabla 21: Centro de banda de octava y tercio de octava.....	95
Tabla 22: Valores de ponderación A por centro de tercio de octava.....	101

Tabla 23: Cronograma de toma de muestras de PM10 en las distintas estaciones de monitoreo.....	126
Tabla 24: Nivel de Ruido en tercios de octava .....	142
Tabla 25: Comparación de los periodos de muestreo con los períodos de ponderación de los Estándares y Guías de Calidad de Aire de Perú, OMS-Europa, Australia, Estados Unidos, España y Reino Unido para Ozono, Dióxido de Nitrógeno y Dióxido de Azufre para la protección de la salud humana .....	160
Tabla 26: Comparación de la concentración de ozono en el aire y el límite permisible del ozono en Ambiente de trabajo (DS 015-2005-SA).....	162
Tabla 27: Análisis estadístico de los resultados de la evaluación de Ozono y el Valor Límite Permisible en Ambiente de Trabajo.....	163
Tabla 28: Comparación de la concentración de ozono en el aire y las Guías de Calidad del Aire para la protección a la vegetación y ecosistemas de Reino Unido .....	164
Tabla 29: Comparación de la concentración de dióxido de nitrógeno en el aire y el límite permisible del dióxido de nitrógeno en Ambiente de trabajo (DS 015-2005-SA).....	165
Tabla 30: Comparación de la concentración de dióxido de nitrógeno en el aire y las Guías de Calidad del Aire para la protección a la vegetación y ecosistemas de la OMS-Europa. ....	166
Tabla 31: Comparación de la concentración de dióxido de azufre en el aire y el límite permisible del dióxido de nitrógeno en Ambiente de trabajo (DS 015-2005-SA).....	167
Tabla 32: Comparación de la concentración de dióxido de azufre en el aire y las Guías de Calidad del Aire para la protección a la vegetación y ecosistemas de la OMS-Europa. ....	168
Tabla 33: Comparación entre los resultados de la evaluación de PM-10 y el Estándares de Calidad de Aire del Perú, de Estados Unidos y la Guía de Calidad del Aire de la OMS-Europa .....	169
Tabla 34: Análisis estadístico de los resultados de la evaluación de PM-10 y la Guía de Calidad del Aire de la OMS-Europa.....	170
Tabla 35: Comparación entre los resultados de la evaluación de ruido sobre los receptores y valores permisibles más importantes .....	171

## Listado de Apéndices

- APÉNDICE 1: Carta topográfica de la Isla del Rey Jorge, Insitut für Physische Geographie, Universität Freiburg, Alemania – Laboratório de Pesquisas Antárticas e Glaciológicas Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil, Noviembre 2001.
- APÉNDICE 2: Plano Autogenerado de la Ensenada MacKellar, por el motor del proyecto “King George Island” del Comité Científico para la Investigación Antártica, SCAR, generado en Septiembre 2008.
- APÉNDICE 3: Plano de Ubicación y Distribución de la Estación Científica Antártica Machu Picchu UB-1.2
- APÉNDICE 4: Plano de Ubicación de los Receptores Naturales de la Contaminación UB-2.2
- APÉNDICE 5: Plano de Resultados de la Evaluación de Ozono E-1.5
- APÉNDICE 6: Plano de Resultados de la Evaluación de Dióxido de Nitrógeno E-2.5
- APÉNDICE 7: Plano de Resultados de la Evaluación de Dióxido de Azufre E-3.5
- APÉNDICE 8: Plano de Resultados de la Evaluación de Material Particulado de diámetro menor a 10 micrómetros E-4.5
- APÉNDICE 9: Plano de Resultados de la Evaluación de Ruido E-5.5

- APÉNDICE 10: Observaciones meteorológicas de Superficie en la Estación Científica Antártica Machu Picchu en la Expedición Antar XVII. Dirección de Meteorología Aeronáutica de la Fuerza Aérea del Perú
- APÉNDICE 11: Información Meteorológica en la Estación Científica Antártica Machu Picchu en la Expedición Antar XVII. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) Enero-Febrero 2007
- APÉNDICE 12: Especificaciones técnicas de los tubos muestreadores pasivos por difusión para ozono, dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre
- APÉNDICE 13: Registro de calibración de fábrica del muestreador MiniPartisol 2100
- APÉNDICE 14: Registro de calibración de fábrica del Sonómetro Quest 2900
- APÉNDICE 15: Cadena de Custodia para evaluaciones ambientales de DIGESA

“EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN LA ESTACIÓN CIENTÍFICA ANTÁRTICA MACHU PICCHU POR OZONO, DIÓXIDO DE NITRÓGENO, DIÓXIDO DE AZUFRE, MATERIAL PARTICULADO CON DIÁMETRO MENOR A 10 MICRÓMETROS Y RUIDO”

## 1. Introducción

La Antártida es el único continente cuyo territorio en su totalidad aún se encuentra en disputa. La geografía y el clima han sido los factores determinantes en el desarrollo de la política antártica. El aislamiento y el terreno agreste, han evitado la exploración humana en la Antártida durante siglos.

Cook fue el primero que circunnavegó la Antártida en 1773, y gracias a sus reportes atrajeron a los cazadores de focas británicos y americanos. En particular, en la Isla de Rey Jorge, que actualmente contiene la mayor cantidad de estaciones científicas, las actividades humanas se iniciaron en 1819 con la primera llegada de los cazadores de focas. Después de unos años, la foca del mar y elefantes marinos casi se extinguen casi completamente en la isla.

Desde 1893, las expediciones a la Antártida tuvieron dos motivos principales: la búsqueda de áreas para la caza de ballenas, y la investigación científica. Después de que la expedición británica de Borchgrevink de 1899, la primera en pasar la temporada de invierno en el continente antártico, se establecieron estaciones costeras para la caza de ballenas en el sector sudamericano.

Estos eventos condujeron a Gran Bretaña a proclamar públicamente territorio antártico en 1908. Los balleneros noruegos que se establecieron en el área del Mar de Ross, condujeron a que Gran Bretaña reclamara más territorios en 1923. A pesar de que Inglaterra había reclamado territorios como suya, los noruegos continuaron con la caza de ballenas a pesar de no contar con licencia de Inglaterra. Por otra parte, Francia proclamó soberanía basado en los descubrimientos por Dumont de un sector en la Antártida.



A principios del siglo XX, son los balleneros los que utilizan la Isla del Rey Jorge y sus puertos naturales protegidos en las playas, donde en muchos de estos aún se pueden encontrar huesos de ballena.

Luego de la expedición de Bird a través del Mar de Ross, Estados Unidos reclamó territorio por su parte. Años después, los australianos reclaman una porción gigantesca de la Antártida. Chile, en 1941 estableció sus límites sobre la Antártida en 1941, seguido por Argentina, quien fija sus límites sobre la Antártida al finalizar la Segunda Guerra Mundial.

Tras haber descubierto y explorado la mayoría del territorio Antártico, las expediciones antárticas empezaron a cambiar. El objetivo era entonces establecer programas de investigación en gran escala. Estas investigaciones fueron consideradas como la única manera útil de manifestar intereses en el continente.

Para 1959, existían estaciones de doce naciones permanentes (habilitadas para su uso durante todo el año), Estas naciones: Argentina, Australia, Bélgica, Chile, Estados Unidos, Francia, Japón, Nueva Zelandia, Noruega, Reino Unido, la Unión Soviética y Sudáfrica, fueron aquellas las que mostraron mucho interés en la Antártida y firmaron el Tratado Antártico para el mantenimiento de las relaciones existentes a esa fecha.

El Tratado Antártico protege los recursos de la Antártida, pero hay temas que no fueron cubiertos. Por ello, en 1972 se firmó el Convenio de la Conservación de Focas Antárticas para regular la caza de focas. Luego se firmó el Convenio de la Conservación de los Recursos Marinos Vivientes Antárticos en 1980.

En la actualidad, las múltiples actividades humanas nuevamente conducen a graves impactos sobre los vulnerables ecosistemas de la Antártida, incluyendo la isla del Rey Jorge. La coordinación de la gestión del medio ambiente es esencial para la conservación de los ecosistemas sensibles.

En este sentido, la presente tesis consiste en evaluar la contaminación atmosférica por ozono, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre, material particulado con diámetro menor a 10 micrómetros y ruido generados por las expediciones peruanas en la Estación Científica Antártica Machu Picchu, con el fin de reconocer la magnitud de la contaminación ambiental generada por las expediciones peruanas y plantear los medios de solución, en caso de determinarse que los problemas ambientales ocasionados sean apreciables.

### 1.1. Antecedentes

El Tratado Antártico, firmado en 1959, estableció que la ocupación humana quede restringida sólo a la investigación.

La Estación Científica Antártica Machu Picchu (ECAMP) se fundó en la Isla del Rey Jorge, una de islas del archipiélago de Shetland, Península Antártica en 1980. Desde entonces, se han realizado, hasta el 2007, 17 expediciones científicas peruanas, de las cuales, el autor participó en la décimo séptima expedición con el propósito de realizar el primer estudio de la calidad del aire en la zona.

La Isla Rey Jorge también contiene la mayor concentración de estaciones multinacionales para las actividades de investigación en la Antártida. Las actividades humanas en la isla se distribuyen en nueve estaciones permanentes y una pista de aterrizaje mantenida por la fuerza aérea chilena.

Hasta el año 2007, sólo se habían realizado estudios de monitoreo del aire en la estación científica de Brasil en los años 2004 y 2006.

### 1.2. Planteamiento del Problema

No se conoce cuáles son los niveles de contaminación generados por el ECAMP, y tampoco se cuenta con facilidades de transporte, tiempo,

herramientas, personal y financiamiento necesarios para establecer un monitoreo continuo dentro de la Red Nacional.

### 1.3. Objetivos

General:

Evaluar la contaminación atmosférica generada por las actividades científicas y logísticas que se desarrollan en la Estación Científica Antártica Machu Picchu (ECAMP).

Específicos

- Evaluar el ruido ambiental generado por la ECAMP en su zona de influencia.
- Evaluar la contaminación de partículas con diámetro menor a 10 micrómetros generada por la ECAMP.
- Evaluar la contaminación por los gases Ozono, Dióxido de Azufre y Dióxido de Nitrógeno, generada por la ECAMP.

### 1.4. Hipótesis

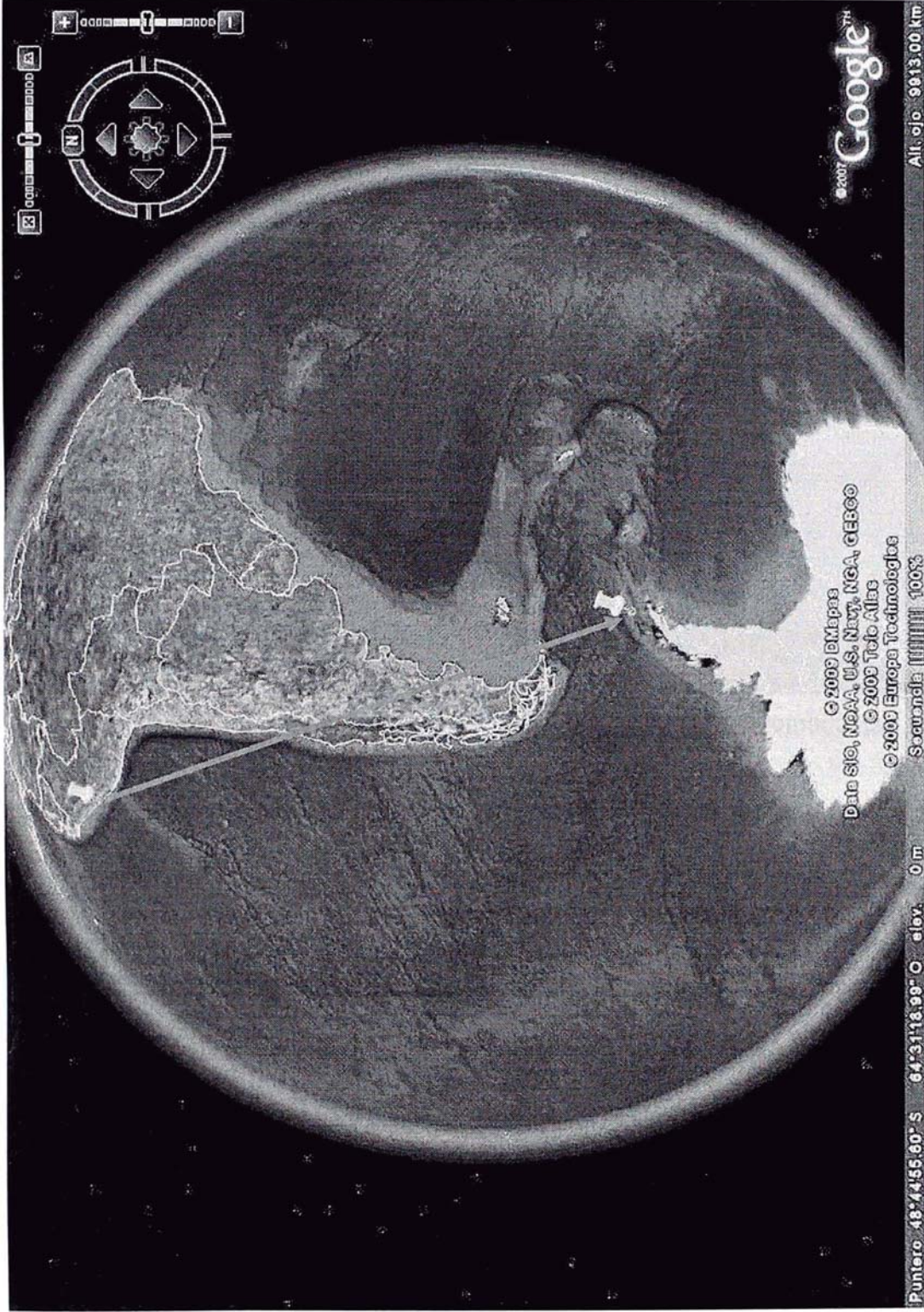
La Estación Científica Antártica Machu Picchu no genera contaminación ambiental por ozono, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre, material Particulado con diámetro menor a 10 micrómetros o ruido

## 2. Ubicación geográfica y descripción

La Estación Científica Antártica Machu Picchu (ECAMP), está situada en la Ensenada MacKellar, Bahía Almirantazgo, Isla Rey Jorge y tiene las coordenadas siguientes: Latitud 62°05'29" Sur, Longitud 58°28'16 Oeste.

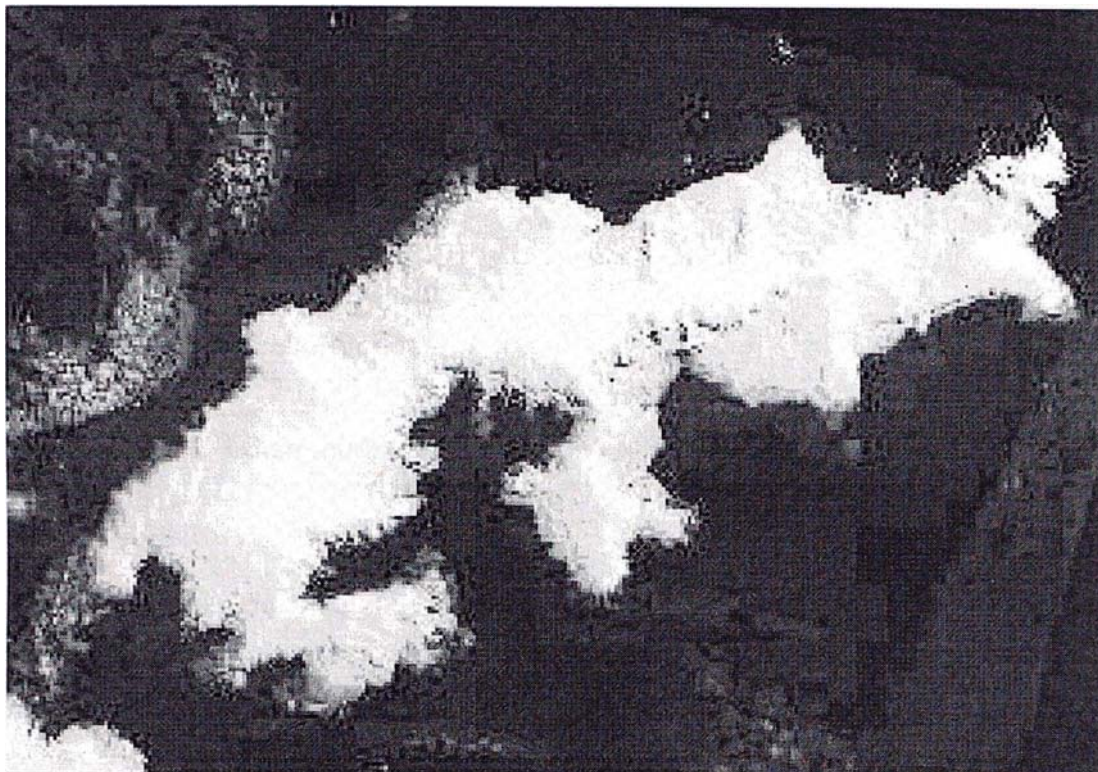
La Isla del Rey Jorge pertenece a las islas Shetland del Sur, Antártica y se encuentra cerca de la punta del Norte de la Península. La isla está dominada por un enorme casquete glacial, donde más del 90% de la isla son glaciares.

Ilustración 2: Posición geográfica del ECAMP v Lima. vista desde el espacio



Lima (12°S 77°O) y la Estación Científica Antártica Machu Picchu (62°S 58°O) se encuentran marcados con la tachuela amarilla. Vista generada con el Software Google Earth v. 4.2. La distancia entre Lima y el ECAMP es de aproximadamente 5900km

**Ilustración 3 : Vista satelital de la Isla del Rey Jorge**



La Isla del Rey Jorge vista desde el espacio. La imagen fue tomada por el satélite francés SPOT a una altitud de 800km, muestra que la isla está compuesta mayormente de glaciares y sólo un par de áreas dispersas (mostradas en tonos oscuros) están libres de hielo.

Se adjunta en el anexo N°1, un plano de localización de la Isla del Rey Jorge, publicado gratuitamente por la Universidad Freiburg, Alemania y la Universidad Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.

La estación está construida sobre áreas sin hielo como se puede observar en el anexo N°2, un plano autogenerado de la Ensenada MacKellar, por el motor de búsqueda del King George Island Project del SCAR, en la página web oficial del proyecto: <http://www.kgis.scar.org/>

La estación opera únicamente durante el verano austral y cuenta para ello de 6 módulos (verano del 2007):

- Módulo Vivienda
- Módulo Taller - Casa de Fuerza
- Módulo de Emergencia
- Módulo Comedor - Cocina
- Módulo de Laboratorios.

En el plano UB-1.5 se muestra la ubicación de la estación y la distribución de los módulos.

## 2.1. Receptores de la contaminación

Los receptores de la contaminación incluyen aves, musgo y líquenes. A continuación se describirá brevemente las especies más cercanas a la estación:

Gaviotines antárticos (*Sterna vittata* Gmelin) Ave parecida al gaviotín sudamericano, de plumaje blanco en el cuerpo y negro en la cabeza, pero se diferencia por tener las patas más cortas y finas y por ser un poco más chico. Longitud entre 39 - 41 cm (Ilustración 5)

Pingüinos, especies de:

- Antártico o de barbijo (*Pygoscelis antarctica*); llamado así por la hilera de plumas negras que pasando por la garganta, une ambos lados de la calota craneana. (Ilustración 6)
- Papúa: de pico y patas rojo anaranjado, con dos manchas blancas sobre la cabeza a modo de capucha. Llega a alcanzar los 80 cm de altura. (Ilustración 7)

Skúas antárticos (*Catharacta maccormicki*); son aves grandes (hasta 2kg) con forma parecida a las gaviotas pero más robustas y amenazantes, tienen un pico corto y grueso y con una curvatura final. Son aves muy agresivas, territoriales, carnívoras y carroñeras, teniendo entre uno de

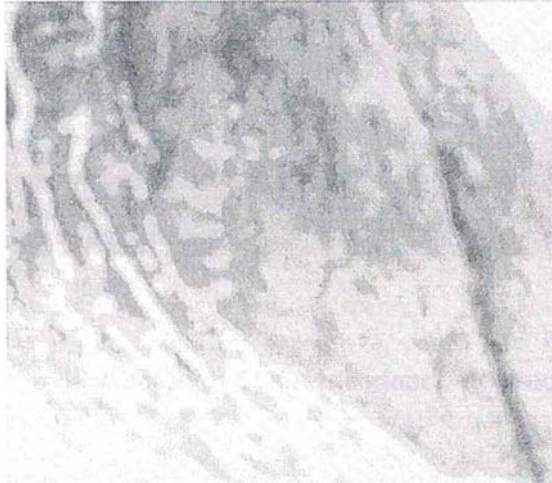
sus huevos de pingüinos, por ello se les conoce como los depredadores del sur. (Ilustración 8 y 9)

Musgo Antártico (alrededor de 100 especies distintas. (Ilustración 10)

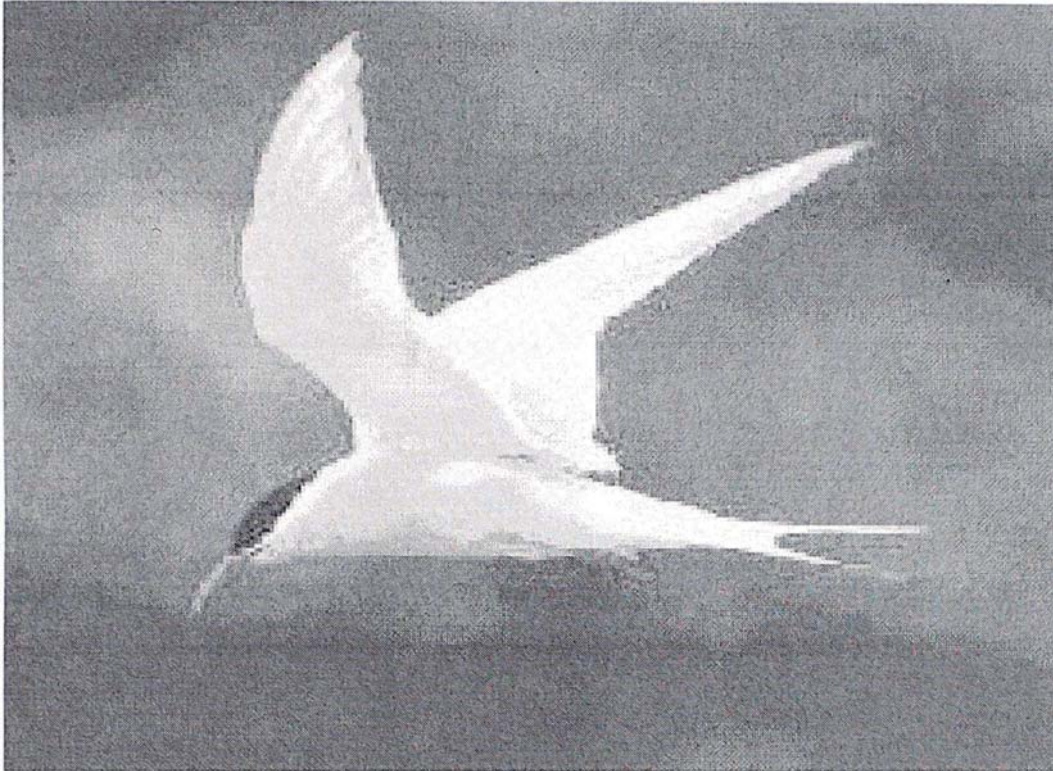
Liquen Antártico (alrededor de 200 especies distintas. (Ilustración 16)

En el plano UB-2.5 se muestran las regiones de tránsito de las aves, nidos de los gaviotines y skúas, y crecimiento del musgo y liquen antártico.

**Ilustración 4: Nido de gaviotín antártico**



**Ilustración 5: Gaviotín antártico en vuelo**



**Ilustración 6: El autor rodeado de pingüinos de barbijo**

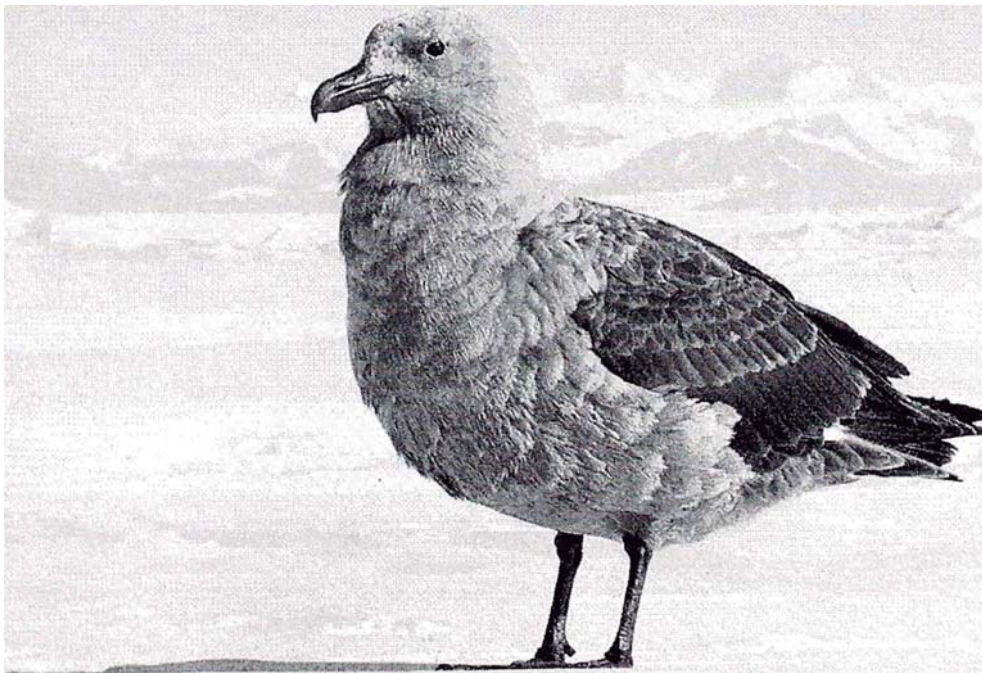




**Ilustración 7: Dos pingüinos Papúa y un pingüino de barbijo**



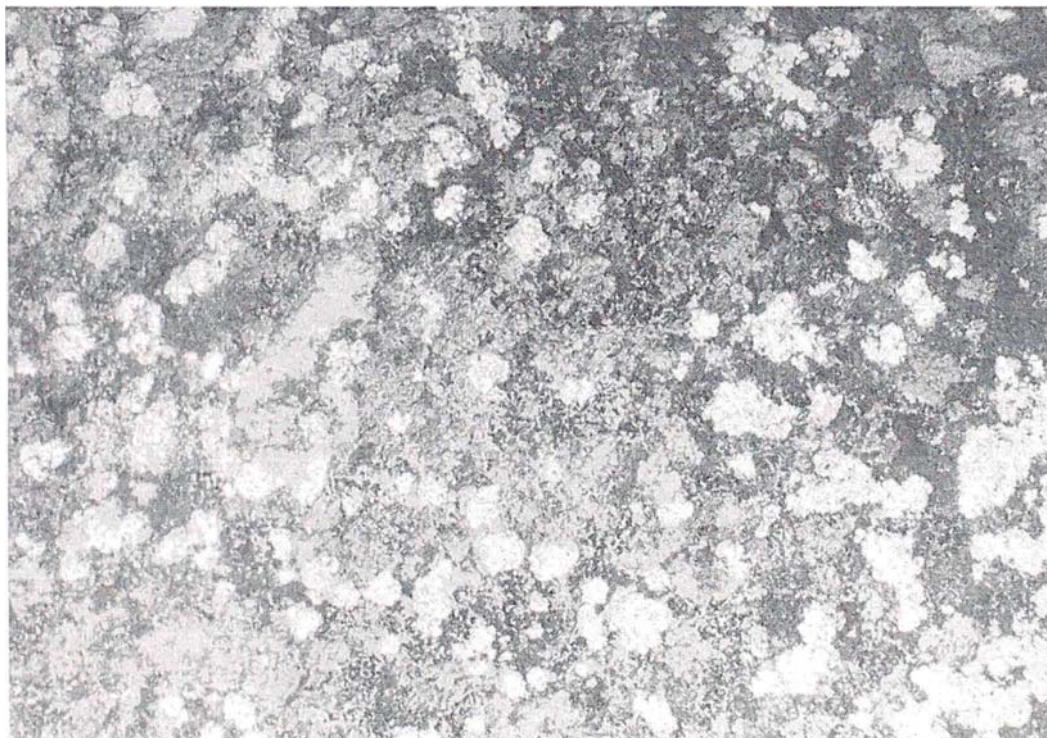
**Ilustración 8: Skúa antártico.**



**Ilustración 9: Skúa antártico en vuelo**



**Ilustración 10: Liqen antártico.**



## 2.2. Condiciones prevalecientes durante las mediciones

### 2.2.1. Condiciones atmosféricas

El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), y la Dirección de Meteorología Aeronáutica de la Fuerza Aérea del Perú (DIRMA) fueron dos instituciones participantes en la expedición ANTAR XVII, que recolectaron los datos meteorológicos durante la ocupación del ECAMP.

A continuación se presenta una tabla que resume los valores máximos y mínimos diarios de temperatura y humedad obtenidos por DIRMA, los datos completos, incluyendo promedios horarios se encuentran en el anexo N° 5.

Tabla 1: Resumen de las observaciones meteorológicas de superficie DIRMA

Fecha	TEMPERATURA		HUMEDAD RELATIVA	
	°C		%	
	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima
<b>19-Ene</b>	-1.0	7.7	90.0	100.0
<b>20-Ene</b>	0.5	8.0	68.0	100.0
<b>21-Ene</b>	0.2	6.6	84.0	96.0
<b>22-Ene</b>	0.4	6.7	84.0	97.0
<b>23-Ene</b>	-0.2	11.7	77.0	100.0
<b>24-Ene</b>	-0.7	11.9	71.0	99.0
<b>25-Ene</b>	-1.5	8.4	71.0	100.0
<b>26-Ene</b>	0.3	6.7	85.0	99.0
<b>27-Ene</b>	0.4	10.0	89.0	96.0
<b>28-Ene</b>	0.8	10.2	68.0	94.0
<b>29-Ene</b>	1.2	9.5	84.0	98.0
<b>30-Ene</b>	0.4	9.0	92.0	100.0
<b>31-Ene</b>	-0.7	1.2	95.0	97.0
<b>01-Feb</b>	-0.9	1.5	91.0	96.0
<b>02-Feb</b>	0.0	3.0	87.0	94.0

SENAHMI recolectó los promedios de minuto horarios de la presión atmosférica, temperatura, punto de rocío, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, irradiación global y precipitación desde el 16 de enero hasta el 2 de febrero del 2007.

A continuación se presenta un cuadro resumen de los promedios diarios obtenidos por SENAMHI, los datos completos, incluyendo promedios horarios se encuentran en el anexo N° 6.

Tabla 2: Resumen de los datos meteorológicos tomados por SENAMHI durante la expedición Antar XVII

DÍA	PRESION ATMOSFERICA		TEMPERATURA			PUNTO DE ROCIO	HUMEDAD RELATIVA	VIENTO		IRRADIANCIA GLOBAL	PRECIPITACION
	hPa	Promedio Diario	°C	Máximo	Mínimo			°C	%		
		Promedio Diario	Promedio Diario			Promedio Diario	Promedio Diario	Promedio Diario	Promedio Diario	Promedio Diario	Promedio Diario
<b>16-Ene</b>	963.6	1.3	3.5	0.1	-2.1	79.3	145.9	2.5	37.3	0.0	
<b>17-Ene</b>	978.8	0.8	2.3	-0.2	-0.9	88.6	105.6	10.1	39.5	0.1	
<b>18-Ene</b>	998.2	1.9	4.3	-0.9	-1.5	78.1	136.8	4.2	117.0	0.0	
<b>19-Ene</b>	998.6	3.1	7.8	0.4	-1.7	71.2	221.6	4.8	358.8	0.0	
<b>20-Ene</b>	997.9	2.8	6.0	0.1	-1.8	72.4			288.1	0.0	
<b>21-Ene</b>	1003.7	2.5	4.9	1.0	-2.0	72.5			241.2	0.0	
<b>22-Ene</b>	1006.2	3.5	5.7	1.1	-1.5	69.8	191.7	1.6	580.9	0.0	
<b>24-Ene</b>	1006.8	3.0	12.1	-1.6	0.0	82.8	191.5	2.4	213.3	0.0	
<b>25-Ene</b>	1003.6	1.0	3.9	-1.4	-0.5	90.4	181.5	1.5	230.3	0.0	
<b>26-Ene</b>	995.4	4.9	7.4	0.3	2.9	86.8	238.8	5.0	120.8	0.1	

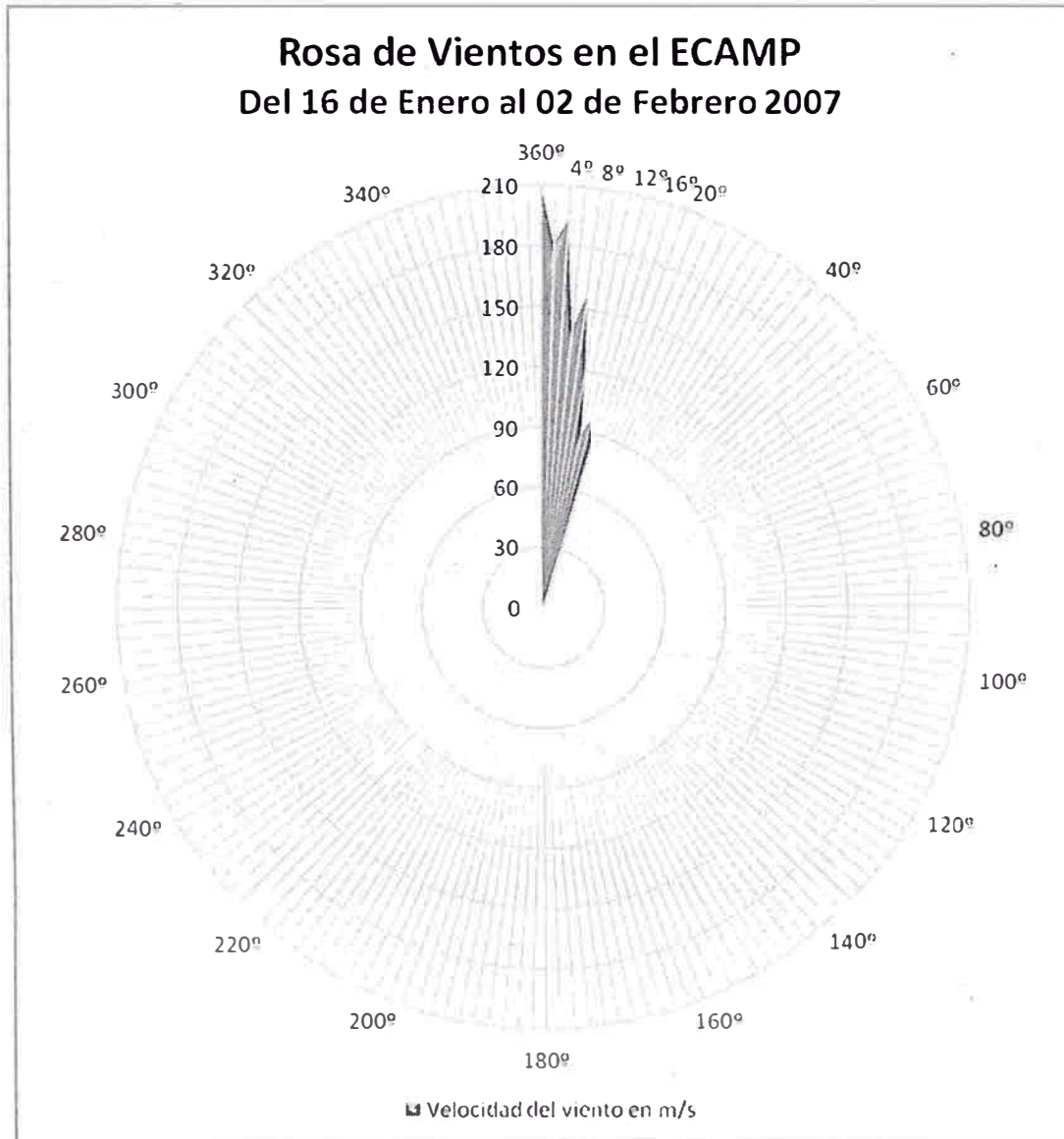
Tabla 2: Resumen de los datos meteorológicos tomados por SENAMHI durante la expedición Antar XVII (Cont.)

DÍA	PRESION ATMOSFERICA	TEMPERATURA			PUNTO DE ROCIO	HUMEDAD RELATIVA	VIENTO		IRRADIANCIA GLOBAL	PRECIPITACION
		Promedio Diario	Máximo	Mínimo			m/s	grados		
	hPa		°C	°C	%					
	Promedio Diario	Promedio Diario	Promedio	Promedio	Promedio	Promedio	Promedio	Promedio	Promedio	Promedio Diario
		Diario	Diario	Diario	Diario	Diario	Diario	Diario	Diario	Diario
<b>27-Ene</b>	992.9	6.1	8.8	4.4	2.7	79.3	140.6	1.8	220.0	0.0
<b>28-Ene</b>	996.7	6.3	6.8	5.6	3.6	83.0	296.0	2.0	2.3	0.0
<b>29-Ene</b>	998.3	6.5	9.3	5.0	3.5	81.5	246.1	2.6	218.5	0.2
<b>31-Ene</b>	984.1	0.0	0.3	-0.4	-1.9	86.9	70.4	6.9	7.3	0.0
<b>01-Feb</b>	974.5	1.0	2.4	-0.1	-0.8	88.0	79.5	6.4	106.9	0.0
<b>02-Feb</b>	988.1	0.8	1.6	0.2	-2.0	81.8	66.5	10.0	200.3	0.0

NOTA: No les fue posible recolectar los 18 días continuos debido a dificultades ambientales y logísticas.

Como se podrá observar el valor mínimo de temperatura en los 18 días evaluados es de  $-1.6^{\circ}\text{C}$ , y el valor máximo de  $12.1^{\circ}\text{C}$ . La humedad relativa varió entre 68% y 100%. El viento sopló con altas velocidades hasta llegar a  $238.8\text{ m/s}$ , en un rango de ángulos de  $1.5^{\circ}$  a  $10^{\circ}$  como se observa en la ilustración generada por el autor a partir de los datos proveídos por SENAMHI.

**Ilustración 11: Rosa de Vientos en el ECAMP**



Notas: La dirección del viento se ha corregido hacia el norte verdadero ( $-12^{\circ}19'$ ), la velocidad del viento mostrada es la predominante promedio horaria.

En general, el verano austral en la Antártida es de muy corta duración, el intervalo desde el 16 al 21 de enero fue registrado como el más frío, y el intervalo del 22 de enero al 29 como el más caluroso. Además se observó que a partir del 30 de enero la temperatura empezó a disminuir.

A continuación se tomaron las siguientes fotos mostrando la variación del clima, durante días nevados, días nubosos y días soleados.

**Ilustración 12: Día nevado en el ECAMP**





**Ilustración 13: Día nublado en el ECAMP**



**Ilustración 14: Día soleado en el ECAMP**



Dada las altas velocidades del viento, se llevó a cabo la verificación de la velocidad del viento de manera constante para asegurar que las mediciones de ruido no se realicen bajo vientos rápidos. Ver la sección de Ruido - instrumentación.

**Ilustración 15: Verificación de las condiciones ambientales in-situ durante las mediciones de ruido en el ECAMP**



### 2.2.2. Naturaleza y estado del terreno

La estación se asienta sobre un terreno tipo tundra, una playa de canto rodado, rocas quebradas y arena, donde el suelo es pobre y el manto vegetal es delgado. Está compuesto por rocas erosionadas por acción del viento, agua, hielo y frío, además del crecimiento de líquenes, y musgos.

**Ilustración 16: Musgos y líquenes antárticos en el área ocupada por ECAMP**



**Ilustración 17: Vista del helipuerto y el módulo de emergencia del ECAMP**



### 3. Normas Legales y Técnicas aplicables

#### 3.1. El Tratado Antártico

El Tratado Antártico, firmado el 1 de diciembre de 1959, regula las relaciones entre los estados firmantes en las materias relacionadas con la Antártida. Fueron 12 naciones participantes durante el Año Geofísico Internacional de 1957-1958, quienes firmaron el tratado, estas fueron: Argentina, Australia, Bélgica, Chile, Francia, Japón, Nueva Zelanda, Noruega, Sudáfrica, URSS (sustituida por Rusia), el Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte y Estados Unidos, pero el Tratado dejó la puerta abierta a cualquier miembro de la Organización de las Naciones Unidas, u otro estado invitado por la totalidad de los signatarios.<sup>1</sup>

El propósito principal del Tratado Antártico es asegurar “los intereses de la humanidad en preservar la Antártida para ser usada exclusivamente para fines pacíficos y no será escenario u objeto de discordia internacional”. De esta manera prohíbe la actividad militar, a excepción de mantener la investigación, prohíbe las explosiones nucleares y disposición de residuos, promueve la investigación científica y el intercambio de información y mantiene suspendidos los reclamos territoriales. El tratado se aplica al área hacia el sur debajo del círculo 60° Latitud Sur incluyendo las plataformas de hielo e islas.

Las principales características del Tratado Antártico son:

- Congela las aspiraciones territoriales de las naciones signatarias.

- Impide la negación o afirmación de derechos de soberanía de los firmantes

- Prohíbe la realización de nuevas reclamaciones

- Protege los derechos de soberanía de las naciones signatarias.

- Limita las actividades en la Antártica a investigaciones científicas

- Habilita un sistema de inspección abierto a todas las partes del tratado.

- Permite la adhesión de otras naciones que tengan intereses científicos sobre la Antártida, siempre y cuando instalen una base científica y lleven a cabo una cantidad sustancial de investigaciones en la Antártida. Estas naciones que cumplen con estos requisitos se les denomina países

miembros adherentes consultivos. Quienes se adhieren al tratado pero no tienen bases o no realizan investigación científica se les denomina países miembros adherentes no consultivos.

Las Asambleas Consultiva del Tratado Antártico (Antarctic Treaty Consultative Meeting, ATCM) se realizan anualmente, donde participan las naciones signatarias y adherentes consultivos, llamados miembros consultivos, ambas tienen voz y voto en estas asambleas. Durante cada ATCM, se realiza una reunión del Comité de Protección Ambiental (CPE).

Los países adherentes consultivos (ordenado por año) son: Polonia (1961), Holanda (1967), Brasil (1975), Bulgaria (1978), Alemania (1979), Uruguay (1980), Italia (1981), España (1982), Perú (1982), China (1983), India (1983), Finlandia (1984), Ecuador (1984), Suecia (1984), Corea del Sur (1986).

Los Países adherentes no consultivos son: Dinamarca (1965), Rumania (1971), Papúa-Nueva Guinea (1981), Cuba (1984), Hungría (1984), Austria (1987), Corea del Norte (1987), Grecia (1987), Canadá (1988), Colombia (1989), Suiza (1990), Guatemala (1991), Ucrania (1992), República Checa (1993), Eslovaquia (1993), Turquía (1996), Venezuela (1999), Estonia (2001)

### 3.2. El Comité Científico para la Investigación Antártica

[Scientific Committee on Antarctic Research, SCAR]

El Comité Científico para la Investigación Antártica, o SCAR según sus siglas en el idioma inglés, es un comité interdisciplinario del Consejo Internacional para la Ciencia (International Council for Science, ICSU), cuyos objetivos es la iniciación, desarrollo y coordinación de investigaciones científicas internacional de alta calidad en la región antártica, y el rol de la región antártica en el sistema de la tierra.

El SCAR es un observador en las Asambleas Consultivas (ATCM), y el Comité de Protección Ambiental (CEP) y provee consejos científicos independientes, según solicitud, en una variedad de campos, particularmente en materia ambiental y de conservación.

Fue durante la reunión anual del Consejo Internacional para la Ciencia celebrado en Estocolmo en Septiembre 1957, cuando se decidió que se necesitaba una organización para la actividad científica en la Antártida, y para ello se debe establecer un comité para este fin. La Agencia del ICSU invitó a las 12 naciones envueltas en investigación antártica activa a nominar un delegado al SCAR.

También fueron invitados a participar en este comité, la Unión Internacional de Geodesia y Geofísica (IUGG), la Unión Geográfica Internacional (UGI), la Unión Internacional de Ciencias Biológicas (IUBS), la Unión Internacional de Física Pura y Aplicada (IUPAP), y la Unión Científica Internacional de Radio (URSI).

### 3.3. Política Nacional Antártica

Decreto Supremo N° 016-2002-RE

El Ministerio de Relaciones Exteriores, decretó el 27 de febrero de 2002, la Política Nacional Antártica con el objetivo de consolidar la presencia activa y permanente del Perú en la Antártida y de su status de Parte Consultiva del Tratado Antártico.

Entre las 4 políticas, cabe resaltar la política No. 3, la de promover la investigación científica nacional con niveles de excelencia orientada a la profundización del conocimiento antártico en sus aspectos teóricos y prácticos. Para ello, se menciona en las estrategias orientadas a esta política, la de coordinar con las universidades e instituciones científicas peruanas de reconocido prestigio, para la realización de investigaciones y actividades científicas relacionadas con la Antártida.

### 3.4. Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire Decreto Supremo N° 074-2001-PCM

El Decreto Supremo N° 074-2001-PCM, Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire, define en su artículo 3, inciso C a los 'Estándares de Calidad del Aire' a aquellos que consideran los niveles de concentración máxima de contaminantes del aire que en su condición de cuerpo receptor es recomendable no exceder para evitar riesgo a la salud humana. Estos estándares protegen la salud humana, por lo que son considerados estándares primarios.

En el artículo 4, lista los contaminantes considerados estándares primarios de la siguiente forma:

**“Artículo 4.- Estándares Primarios de Calidad del Aire.-** Los estándares primarios de calidad del aire consideran los niveles de concentración máxima de los siguientes contaminantes del aire:

- a) Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>)
- b) Material Particulado con diámetro menor o igual a 10 micrómetros (PM-10)
- c) Monóxido de Carbono (CO)
- d) Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>)
- e) Ozono (O<sub>3</sub>)
- f) Plomo (Pb)
- g) Sulfuro de Hidrógeno (H<sub>2</sub>S) “

Para la presente tesis, considerando el hecho que el combustible de los equipos generadores de contaminación no era gasolina con plomo, se supuso que la cantidad de muestra de material particulado con diámetro aerodinámico menor a 10 micrómetros recolectado sería tan pequeña, que los niveles de Plomo serían insignificantes. La coloración de los filtros, y su posterior pesado comprobó el supuesto.



Tabla 3: Estándares de Calidad de Aire según D.S. 074-2001-PCM

CONTAMINANTES	PERIODO	FORMA DEL ESTANDAR		METODO DE ANALISIS
		VALOR ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	FORMATO	
<b>Dióxido de Nitrógeno</b>	1 hora	200	NE más de 24 veces/año	Quimioluminiscencia (Método automático)
<b>Dióxido de Azufre</b>	Anual	80	Media aritmética anual	Fluorescencia UV (método automático)
	24 horas	365	NE más de 1 vez al año	
<b>Ozono</b>	8 horas	160	NE más de 24 veces/año	Fotometría UV (Método automático)
<b>Material Particulado con diámetro menor a 10 micrómetros</b>	Anual	80	Media aritmética anual	Separación Inercial/ Filtrado Gravimetría
	24 horas	200	NE más de 3 veces al año	

Nota: NE significa no exceder.

### 3.5. Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU. (USEPA)

La primera disposición transitoria del Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire, D.S. 074-2001-PCM, indica que mientras el Ministerio de Salud no emita las directivas y normas que regulen el monitoreo, se utilizará las directrices vigentes de "Garantía de la Calidad para los Sistemas de Medición de la Contaminación del Aire" publicadas por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos de Norteamérica. "

Las directrices se encuentran en el documento original "Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems", también llamado el Libro Rojo (Red Book).

El "Comité Técnico de Normalización de Gestión Ambiental de Normas Técnicas Peruanas sobre Monitoreo de Emisiones y Calidad del Aire", ha adaptado las metodologías EPA del Libro Rojo, y el Código de Reglamentos Federales de los EE.UU. (CFR, Título 40: Protección al Ambiente) al español y las ha publicado como Normas Técnicas Peruanas.

**Tabla 4: Normas Técnicas Peruanas de Calidad del Aire Aplicables**

Norma original	Denominación/Descripción	Año de edición como	
		EPA	NTP
<b>40 CFR Parte 50 Capítulo 1, Apéndice J</b>	<b>NTP 900.030:2003</b> / Método de referencia para la determinación de material particulado respirable como PM10 en la atmósfera.	1997	2003
<b>EPA 6</b>	<b>NTP 900.006:2002</b> / Método para la determinación de emisiones dióxido de azufre en fuentes estacionarias	1999	2002
<b>EPA 7</b>	<b>NTP 900.007:2002</b> / Método para la determinación de emisiones de óxidos de nitrógeno en fuentes estacionarias	1999	2002

Estos métodos cuentan con el procedimiento para la toma de muestras y el análisis.

Tanto el Libro Rojo y el Código de Reglamentos Federales, hacen mención al monitoreo de propósito especial, lugares a los cuales se puede aplicar otros métodos alternativos o variantes de los métodos oficiales.

**La enmienda al 40 CFR, parte 53 y 58, establece que estos sitios de monitoreo de propósito especial (no son parte de la red de monitoreo nacional), no tienen restricciones en el tipo de método, incluyendo métodos continuos, de alta sensibilidad y métodos pasivos.**

Estos lugares de monitoreo de propósito especial (SPMS) están diseñados para alentar el monitoreo. Los propósitos especiales pueden realizarse si una comunidad tiene interés en saber si una fuente puntual puede generar impacto en su vecindario, o si se desea localizar las máximas concentraciones dentro del mismo. También se establecen los SPMS para complementar los estudios continuos de las redes de monitoreo cuando las circunstancias lo requieren.

### 3.6. Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido Decreto Supremo N° 085-2003-PCM

En el preámbulo de este Decreto Supremo, se hace mención al Decreto Legislativo N° 613, Código del Medio Ambiente y los Recursos Naturales, cuyo Artículo I del Título Preliminar, establece que es obligación de todos la conservación del ambiente y consagra la obligación del Estado de prevenir y controlar cualquier proceso de deterioro o depredación de los recursos naturales que puedan interferir con el normal desarrollo de toda forma de vida.

En el artículo 3 se define los siguientes términos que serán incluidos en la presente tesis:

- Contaminación Sonora: Presencia en el ambiente exterior ó en el interior de las edificaciones, de niveles de ruido que generen riesgos a la salud y al bienestar humano.
- Emisión: Nivel de presión sonora existente en un determinado lugar originado por la fuente emisora de ruido ubicada en el mismo lugar.
- Zonas críticas de contaminación sonora: Son aquellas zonas que sobrepasan un nivel de presión sonora continuo equivalente de 80 dBA.

El reglamento establece 5 zonas de aplicación: Zona de Protección Especial, Zona Residencial, Zona Mixta, Zona comercial y Zona Industrial, cuyos respectivos niveles de protección está en orden decreciente tal como se presenta en el siguiente cuadro:

**Tabla 5: Límites Máximos Permisibles de Ruido Ambiental**

ZONAS DE APLICACION	VALORES EXPRESADOS EN $L_{Aeq,t}$	
	HORARIO DIURNO	HORARIO NOCTURNO
<b>Zona de Protección Especial</b>	50	40
<b>Zona Residencial,</b>	60	50
<b>Zona Comercial</b>	70	60
<b>Zona Industrial</b>	80	70

Estos valores tienen como objetivo proteger la salud de las personas y mejorar la calidad de vida.

El Decreto Supremo no establece valores para la conservación de la salud de otras formas de vida, tampoco delega el establecimiento de los límites permisibles al Ministerio de Relaciones Exteriores, Autoridad Ambiental en la Calidad para Ruido en la Estación Científica. Por este motivo, y por ser la región una zona protegida, se adoptará los límites permisibles como Zona de Protección Especial.

### 3.7. Guías de Calidad del Aire por la Oficina Regional de Europa de la Organización Mundial de la Salud (OMS-Europa), Actualización Mundial 2005

Las Guías de Calidad del Aire, publicadas por la Oficina Regional de Europa de la Organización Mundial de la Salud, tienen como objetivo ser una referencia para las políticas nacionales en los países europeos. La primera edición, la de 1987, incluyó la evaluación de riesgos de 28 contaminantes del aire. La segunda edición, la del año 2000, fue editada con la actualización respectiva sobre los estudios de calidad de aire, estudios toxicológicos y epidemiológicos durante la década del 1990. Esta edición, además, incluye la metodología de la evaluación de riesgos a la salud basados en los puntos de referencia Benchmark (véase apartado 4.1.4 de la presente tesis), el criterio de los factores de incertidumbre (apartado 4.1.4) y el criterio de periodo (tiempo de la ponderación).

Las Guías de Calidad de Aire, Actualización Mundial 2005, presenta los valores guía revisados para los cuatro contaminantes del aire más comunes – material particulado, ozono, dióxido de nitrógeno, y dióxido de azufre. Además contiene una revisión de los temas que afectan en el uso de las guías en el mundo sobre la evaluación de riesgos y desarrollo de políticas.

La tabla 6 muestra las guías de calidad del aire según la última actualización.

Tabla 6: Guías de la Calidad de por la Oficina Regional de Europa de la Organización Mundial de la Salud (OMS-Europa), Actualización Mundial 2005

CONTAMINANTE	PERIODO	Guía de Calidad del Aire OMS-Europa, 2005
		VALOR ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Ozono	8 horas	100
Dióxido de Nitrógeno	Anual	40
	1 hora	200
Dióxido de Azufre	24 horas	20
	10 minutos	500
Material Particulado con diámetro mayor a 10 micrómetros	Anual	20
	24 horas	50

### 3.8. Guías de Calidad del Aire para la protección de la Vegetación y Ecosistemas por Reino Unido, España y OMS-Europa.

Tal como se menciona en las Guías de Calidad del Aire, 2000, el objetivo principal es la protección directa de la Salud Humana, pero la estrategia de la OMS para la salud reconoce la importancia de la protección del ambiente para el beneficio de la salud humana y bienestar. La OMS define al **nivel crítico** como la concentración de contaminante en la atmósfera que si se sobrepasa podrían ocurrir efectos adversos directos en los receptores como plantas, ecosistemas o materiales, según los conocimientos actuales. Define además la **carga crítica**, como un estimado cuantitativo de una exposición, en la forma de deposición, de uno o más contaminantes, debajo del cual no ocurrirán efectos nocivos en elementos sensibles especificados del ambiente, según los conocimientos actuales.

Los niveles críticos se refieren a los efectos directos en la fisiología, crecimiento y vitalidad de las plantas, expresados como contaminación atmosférica o exposición acumulada sobre un periodo. Las cargas críticas se refieren a los efectos potenciales sobre un periodo de décadas.

Tabla 7: Guía de Niveles Críticos sobre la Vegetación, Organización Mundial de la Salud, 2000

Contaminante	Categoría de vegetación	Valor límite (Nivel crítico)	
		Guía ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Periodo
Óxidos de Nitrógeno	Todos (para NO y NO <sub>2</sub> )	30	Promedio anual
Dióxido de Azufre	Bosques y vegetación natural	20	Promedio anual
	Líquenes	10	Promedio anual
Ozono	Cultivos	420*	5 días
	Vegetación semi-natural	6000*	3 meses

\* AOT 40 es la suma de las diferencias entre las concentraciones horarias mayores a  $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (=40ppb) y  $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , sobre un periodo dado usando solo promedios 1-hora medidos entre las 0800 and 2000 horas.

Algunos países, ya han adopta límites permisibles para la protección de la vegetación y ecosistemas. Entre estos se ha considerado mencionar a Reino Unido y España. Los límites permisibles se muestran a continuación en las Tablas 8 y 9.

Tabla 8: Guías de la Calidad de Aire del Reino Unido para la protección de vegetación y ecosistemas, Julio 2007

Contaminante	Valor Límite	
	Concentración	Periodo
Dióxido de Nitrógeno (para la protección de vegetación y ecosistemas) *	$30 \mu\text{g m}^{-3}$	Promedio anual
Dióxido de Azufre (para la protección de vegetación y ecosistemas) *	$30 \mu\text{g m}^{-3}$	Promedio Anual
	$30 \mu\text{g m}^{-3}$	Promedio Invierno (Oct. - Mar)
Ozono (para la protección de vegetación y ecosistemas) *	$18 \mu\text{g m}^{-3}$ (Sobre $80 \mu\text{g m}^{-3}$ )	AOT40, calculado en valores de 1h de Mayo a Julio. Promedio de 5 años, empezando del 2010.

\* No incluido en la legislación vigente



Tabla 9: Valores límite para la protección de ecosistemas, Real Decreto 1073/2002, Octubre 2002

Contaminante	Valor límite	
	Concentración	Periodo
Dióxido de Nitrógeno (para la protección de ecosistemas)	30 $\mu\text{g m}^{-3}$	Promedio anual
Dióxido de Azufre (para la protección de ecosistemas)	20 $\mu\text{g m}^{-3}$ 20 $\mu\text{g m}^{-3}$	Promedio Anual Promedio Invierno (1 Oct. - 31 Mar)

Como se puede observar, el límite más estricto de dióxido de azufre es el de la Organización Mundial de la Salud (20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para bosques, y 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para líquenes). El límite bajo de los líquenes se debe a que muchas especies sensibles de líquenes y briofitos han desaparecido de extensas áreas de Europa, con moderada elevación en los niveles de concentración de dióxido de azufre. Las concentraciones medias de 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  están asociadas con la erradicación de la clase más sensible de los líquenes.

Con respecto a los óxidos de nitrógeno, no existe suficiente evidencia para establecer un límite de 24 horas, pero se sugiere que 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  sea el límite para exposiciones cortas, sin embargo, la combinación con otros contaminantes (dióxido de azufre y ozono) podrían causar efectos críticos.

Finalmente, en cuanto a ozono, se tiene que considerar la suma de las diferencias horarias acumuladas durante un periodo continuo de 3 meses. En este caso es más exigente el de Reino Unido, que establece 18  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  AT40. Es decir el valor en que se empiezan a contar los posibles efectos inicia a 80  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , y el máximo acumulado promedio en los 3 meses es 96  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

### 3.9. Comparación entre estándares y guías de Calidad del Aire del Perú, OMS, Australia, Estados Unidos, España y Reino Unido para la protección de la salud y de los ecosistemas.

En la tabla 10 podemos comparar los estándares y guías de calidad del aire para la protección de la salud del Perú, OMS-Europa, Australia, Estados Unidos, España y Reino Unido, y valores referenciales de concentración natural para O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y PM 10.

Podemos observar similitudes en muchos de estos valores, como es el caso del límite permisible de dióxido de nitrógeno, cuyo máximo para 24 horas es el de 200 µg/m<sup>3</sup>. Sin embargo, la OMS-Europa, España y Reino Unido tienen un valor anual más estricto que el resto de los países, incluyendo el Perú, de 40 µg/m<sup>3</sup> como máximo.

Esta tendencia, como se puede observar, OMS-Europa, España y Reino Unido tienen límites permisibles más estrictos para el resto de contaminantes. OMS-Europa presenta valores más bajos que estos dos países europeos, aunque incluye solamente para algunos periodos de medición, ya que, según como se explica en la publicación del 2005, al respetar estos valores, se tendrá márgenes de seguridad aceptables para otros periodos.

Por otro lado, se puede observar algunos límites permisibles, especialmente los europeos, se encuentran por debajo de los niveles de concentración natural. Esto se debe a que las políticas de control de la contaminación del Aire de estos países son muy estrictas y se están llevando por etapas. Los límites del Reino Unido y España serán aún más estrictos para el año 2010.

En contraste, los límites permisibles del Perú están por debajo de los límites europeos, siendo los niveles permisibles más parecidos a los de los Estados Unidos.

Tabla 10: Comparación entre Estándares y Guías de Calidad del Aire del Perú, OMS-Europa, Australia, Estados Unidos, España y Reino Unido, y valores referenciales de concentración natural para O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y PM-10.

CONTAMINANTE	CONCENTRACIÓN NATURAL (*)	PERIODO	ECA	OMS-Europa, 2005	Consejo de Protección	NAAQs, 2008	Real Decreto	Estategia de
			D.S. 074-2001-PCM Perú	Guía de Calidad del Aire Directrices	al Ambiente, 1998 Australia	40 CFR parte 50 Estados Unidos	1073-2002 España	Calidad del Aire, 2007, Reino Unido
	VALOR (µg/m <sup>3</sup> )		VALOR (µg/m <sup>3</sup> )	VALOR (µg/m <sup>3</sup> )	VALOR (µg/m <sup>3</sup> )	VALOR (µg/m <sup>3</sup> )	VALOR (µg/m <sup>3</sup> )	VALOR (µg/m <sup>3</sup> )
Ozono	65 - 75	8 horas	160	100	---	160	---	100
		4 horas	---	---	169	---	---	---
		1 hora	---	---	211	---	---	---
Dióxido de Nitrógeno	40	Anual	100	40	60	100	40	40
		1 hora	200	200	240	---	200	200
		Anual	80	---	56	80	20	---
Dióxido de Azufre	40-55	24 horas	365	20	226	365	125	125
		1 hora	---	---	560	---	350	350
		Anual	80	20	---	50	100	50
Material Particulado con diámetro menor a 10 micrómetros	---	24 horas	200	50	50	150	40	40

En la siguiente tabla se hace la comparación entre las guías de calidad de aire para la protección de la vegetación y/o ecosistemas entre el Reino Unido, España y la Organización Mundial de la Salud.

Tabla 11: Comparación entre Guías de Calidad del Aire para la protección de vegetación y/o ecosistemas de Reino Unido, España y la Organización Mundial de la Salud

CONTAMINANTE	PERIODO	Estrategia de Calidad del Aire, 2007, Reino Unido	Real Decreto 1073-2002 España	Guía de Calidad del Aire, 2000 OMS-Europa
		VALOR ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	VALOR ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	VALOR ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Ozono	Verano (Mayo – Julio)	18	---	---
	6 meses	---	---	10 (Bosques)
	3 meses	---	---	3 (Vegetación seminatural)
Dióxido de Nitrógeno	Anual	30	30	30 (incluye NO)
Dióxido de Azufre	Anual	30	20	20 (Bosques) 10 (Liquenes)
	Invierno (1 Oct. – 31 Mar)	30	20	---

Nota: Vegetación seminatural es aquella que ha tenido impactos tangenciales del hombre, también denominada semiantrópica. (Oviedo Prieto, R. Especies invasoras en Cuba, consideraciones básicas [En línea] Cuba, 2006. Disponible en: [www.dama.gov.co](http://www.dama.gov.co))

3.10. Reglamento sobre Valores Límites Permisibles para agentes químicos en Ambiente de Trabajo  
D.S. 015-2005-SA

Los valores límites permisibles constituyen valores de referencia para la protección de la salud de los trabajadores contra los riesgos de exposición a sustancias químicas en los ambientes de trabajo. No se puede aplicar estos valores para la evaluación de la contaminación medioambiental, sin embargo puede servirnos para la evaluación del riesgo a salud de los expedicionarios peruanos a la Antártida.

El Reglamento DS 015-2005-SA define al “Límite Permissible – Media Ponderada en el Tiempo” (Threshold Limit Value-TWA) como un valor de referencia para la media ponderada en el tiempo (Time Weighted Average, TWA), a la concentración media del agente químico en la zona de respiración del trabajador medida, o calculada de forma ponderada con respecto al tiempo, para la jornada estándar de 8 horas diarias, 40 horas semanales.

Los TLV-TWA representan condiciones en la cuales la mayoría de los trabajadores pueden estar expuestos 8 horas diarias y 40 horas semanales durante toda su vida laboral, sin sufrir efectos adversos a la salud.

Tabla 12: Valores Límites Permisibles para agentes químicos seleccionados en el ambiente de trabajo (DS 015-2005-SA)

N° CAS	AGENTE QUÍMICO	LÍMITE ADOPTADO		PESO MOLECULAR
		TWA		
		ppm	µg/m³	gramos
7446-09-5	Dióxido de azufre	2	5200	64.07
10102-44-0	Dióxido de nitrógeno	3	5600	46.01
10028-15-6	Ozono			48.00
	- Trabajo pesado	0.05	100	
	- Trabajo moderado	0.08	160	
	- Trabajo ligero	0.1	200	
	- Trabajo pesado, moderado o ligero <= 2horas	0.2	400	
....	Partículas insolubles en el agua, no clasificadas de otra forma			
	- Fracción inhalable		10000	
	- Fracción respirable		3000	

### 3.11. Normas Técnicas de la Organización Internacional para la Estandarización

La primera disposición transitoria del Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Ruido, D.S. 085-2003-PCM, indica que mientras el Ministerio de Salud no emita una Norma Nacional para la medición de ruido y equipos a utilizar, estos serán determinados de acuerdo a las Normas Técnicas de la Organización Internacional para la Estandarización:

ISO 1996-1: Acústica – Descripción y mediciones de ruido ambiental,  
Parte 1: Magnitudes básicas y procedimientos

ISO 1996-2: Acústica – Descripción y mediciones de ruido ambiental,  
Parte 2: Recolección de datos pertinentes al uso de suelo

#### 4. Marco Teórico

##### 4.1. Gases contaminantes: dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre y ozono; relación con la atmósfera y técnica de muestreo

La Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los EE.UU., en el listado de la Clean Air Act de 1972, incluye entre los principales contaminantes del aire al dióxido de azufre, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno, y se los clasificó como contaminantes que fijan criterios.

El dióxido de nitrógeno es un indicador importante de la contaminación atmosférica, porque la concentración de  $\text{NO}_2$  se correlaciona muy bien con la concentración de monóxido de carbono e hidrocarburos aromáticos policíclicos particulados (Lewis et al., 1995)<sup>2</sup> y el hollín (Bower et al., 1991)<sup>3</sup>. Además el  $\text{NO}_2$  es el más tóxico de los óxidos de nitrógeno. (Glasius et al, 1998) <sup>4</sup>

Los óxidos de azufre ( $\text{SO}_x$ ) son gases acres, corrosivos y tóxicos que son producidos cuando se quema algún combustible que contiene azufre.

Existe evidencia de medidas continuas de aerosoles ácidos como el  $\text{SO}_2$  en la atmósfera indica una predominancia del dióxido sobre el trióxido de azufre.

Los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) se producen cuando el combustible se quema a temperaturas muy altas.



Nombre:	Óxidos de nitrógeno NO <sub>x</sub> (Especialmente NO <sub>2</sub> )
Definición:	Siete óxidos de nitrógeno: NO, NO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O, N <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , N <sub>2</sub> O <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . El trabajo sobre la contaminación del aire se refiere al NO y NO <sub>2</sub> , óxido nítrico y dióxido de nitrógeno. Ambos son gases incoloros. Concentraciones excesivas en el aire ocasionan un color parduzco debido a la absorción de la luz en el área azul-verde del espectro.
Fuentes:	Producidos al quemar combustible a temperaturas muy altas a partir del nitrógeno del aire. También son producidos a partir del nitrógeno del carbón y de los aceites pesados: grandes generadores de energía eléctrica, grandes calderas industriales, motores de combustión interna, plantas de ácido nítrico.
Efectos	Visibilidad reducida; irritación en la nariz y los ojos; edema pulmonar, bronquitis y neumonía; reaccionan con VOC bajo la influencia de la luz solar para formar ozono, PNA y esmog. El ozono y PAN son oxidantes poderosos que actúan como irritantes severos para los ojos, la nariz y la garganta y ocasionan ruptura en el caucho, las pinturas, los textiles, etcétera; y dañan la vida de las plantas.
NAAQS (*)	Primarios y secundarios (**) – anual, 100 mg/m <sup>3</sup> , 0.05 ppm

(\*) NAAQS, *National Ambient Air Quality Standards*: Normas Nacionales de calidad del aire ambiental de los Estados Unidos de América

(\*\*) Las normas primarias están diseñadas para proteger la salud humana, las normas secundarias están diseñadas para salvaguardar el bienestar público.

Fuente: Manual de control de la calidad del aire. Mc GrawHill, 1998, México pp. 2.6-2.7.

Nombre:	Dióxidos de azufre SO <sub>x</sub> (Especialmente SO <sub>2</sub> )
Definición:	Acre, corrosivo, gases tóxicos producidos cuando se quema combustible o compuestos que contienen azufre
Ejemplos:	SO <sub>2</sub> en forma gaseosa o ácido sulfuroso (H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> ) y ácido sulfúrico (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) en forma líquida, un componente de la lluvia ácida
Fuentes:	Artículos eléctricos, calderas industriales, fundiciones de cobre, refinerías de petróleo, fuentes de automóviles, calentadores residenciales y comerciales
Efectos	Dificultad para respirar cuando se disuelven en la nariz y en las vías superiores; tos crónica y secreción de las mucosas; la lluvia ácida destruye la vida de las plantas, los peces, especialmente en las áreas primitivas, como las de los parques y de los bosques nacionales; contribuye a una visibilidad disminuida en la medida de las porciones de sulfato de las partículas suspendidas

NAAQS	PTS (*) (H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> y H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> en forma líquida)	PM <sub>10</sub> (**) (SO <sub>2</sub> en forma gaseosa)
Primarios – anual	80 mg/m <sup>3</sup>	0.03 ppm
24 h	365 mg/m <sup>3</sup>	0.14 ppm
Secundarios – 3h	1300 mg/m <sup>3</sup>	0.5 ppm

(\*) PTS: Partículas totales en suspensión

(\*\*) PM<sub>10</sub>: Partículas con diámetro aerodinámico menor a 10 micrómetros

Nota: El SO<sub>2</sub> se convierte en H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>, por la interacción con agua, como se explica en el acápite 4.1.1.1.

Fuente: Manual de control de la calidad del aire. Mc GrawHill, 1998, México pp. 2.6-2.7.

#### 4.1.1. Reacciones en la atmósfera

Existen 3 tipos de reacciones en la atmósfera: las térmicas, ocasionadas por la absorción de calor; las fotoquímicas, ocasionadas por la absorción de la luz; y las heterogéneas, ocasionadas por reacción con partículas o en solución en pequeñas gotas.

No existen límites claros entre los tres tipos. Todas ellas causan contaminación. (Manual de control de la calidad del aire, pp. 2.19.)

##### 4.1.1.1. Reacciones de los óxidos de nitrógeno

Reacciones térmicas: A una concentración de 1000 ppm, el NO incoloro se convierte en marrón para formar NO<sub>2</sub> en cuestión de segundos (Haagen-Smit y Wayne, 1968)<sup>5</sup>. En concentraciones bajas, la tasa de oxidación es más lenta. Por ejemplo, a 1ppm se necesitan 100 horas para la conversión del 50% de NO a NO<sub>2</sub>. A 0.1ppm la vida media es de 1000 horas.



Reacciones fotoquímicas: El dióxido de nitrógeno es un fuerte activo y absorbe la luz sobre el rango visible completo y ultravioleta del espectro solar disponible en la atmósfera baja (27,28). De 6000 a aproximadamente 3800 Å, el espectro indica la formación de moléculas excitadas. Debajo de los 3800 Å, el NO<sub>2</sub> se disocia para producir NO y átomos de oxígeno.



Reacciones heterogéneas: El dióxido de nitrógeno se puede hidratar y oxidarse catalíticamente en presencia de gotitas de niebla, llevando a una completa conversión del NO<sub>2</sub> en ácido nítrico.

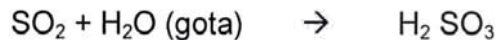


#### 4.1.1.2. Reacciones de los óxidos de azufre

Reacciones fotoquímicas: A pesar de que la absorción de la luz por el SO<sub>2</sub> se extiende hasta la región ultravioleta cercana, la oxidación fotoquímica es lenta; se estima que la tasa de oxidación con una iluminación solar natural intensa tiene un rango mínimo de 0.1% por hora, hasta un máximo de 0.4% por minuto.

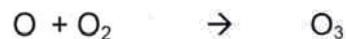


Reacciones heterogéneas: En presencia de gotitas de neblina, se forman gotitas de ácido sulfúrico, mayormente con diámetro menor de 0.5 μm, contribuyendo a la formación de brumas en zonas inhabitadas.



#### 4.1.1.3. Reacciones del oxígeno y ozono

Reacciones fotoquímicas: El proceso de disociación del NO<sub>2</sub> por absorción de la luz, como se menciona líneas arriba, libera el oxígeno atómico a la atmósfera donde se combina con oxígeno molecular para formar ozono.



Este proceso de dos pasos iguala la cantidad de NO, segundo producto de la disociación del NO<sub>2</sub>, y el O<sub>3</sub> que se produciría según la siguiente reacción:



La rápida reacción entre el NO y O<sub>3</sub> reducirá ampliamente la cantidad total del ozono encontrado. Se estima que para concentraciones de 1 ppm, la vida media del NO es 1.8 segundos; de la misma manera, si la concentración de ambos

reactantes están presentes en 0.1 ppm, tomaría 18 segundos para completar una oxidación total.

En áreas donde la concentración de ozono es alta, el NO<sub>2</sub> es rápidamente oxidado a N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, el cual es subsecuentemente hidratado para formar ácido nítrico. A una concentración de dióxido de nitrógeno de 1 ppm, se estima que la vida media del ozono sea de 8 minutos.



#### 4.1.2. Procesos de asimilación y remoción de contaminantes del aire

En principio, las rutas disponibles para la remoción de material externo de la atmósfera puede ser separado por deposición y conversión a constituyentes atmosféricos normales. Si alguno de los contaminantes no son eliminados por uno u otro de estos mecanismos, se acumula en la atmósfera.

Las reacciones químicas facilitan ambos procesos:

La **deposición** en la baja atmósfera, por oxidación y combinación de los contaminantes para dar partículas sólidas o líquidas, o fases absorbidas de dichas partículas; y

La **conversión** en la alta atmósfera, a través de trastorno de moléculas gaseosas o de vapores más complejas por alta energía, radiación de onda corta del sol.

##### 4.1.2.1. Asimilación y remoción de óxidos de nitrógeno

Parece ser que los óxidos de nitrógeno liberados a la atmósfera, por procesos industriales y otras actividades urbanas, tienen un tiempo tan corto de vida que no se espera una acumulación detectable en la atmósfera general.

En los altos niveles de la atmósfera, el ozono es generado foto-químicamente, y puede reaccionar con el dióxido de nitrógeno para formar pentóxido de nitrógeno

y trióxido, los cuales se combinan con álcalis, formando nitratos los cuales son lavados por precipitación. Es posible, también, que algo del dióxido de nitrógeno pueda reaccionar directamente con amoníaco, liberando nitrógeno molecular y vapor de agua. Se estima en el presente que las concentraciones de fondo, naturales, estén en el rango de **0.02ppm (40 µg/m<sup>3</sup>)**.

#### 4.1.2.2. Asimilación y remoción de óxidos de azufre

Los óxidos de azufre están sujetos a reacciones que lo remueven de la atmósfera, el tiempo retorno ha sido estimado en 43 días o menos, en promedio.

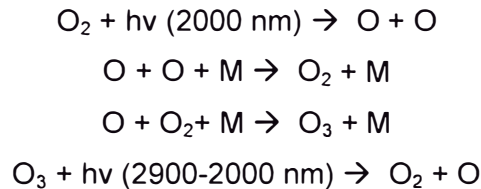
El SO<sub>2</sub> es emitido en suficiente grandes cantidades que se puede esperar que se encuentren como constituyentes semipermanentes de la atmósfera. Las fuentes naturales de este gas es muy pequeña y la remoción de la atmósfera por absorción o reacción es solo moderado. Bajo estas condiciones, la emisión masiva de estas cantidades puede tener un impacto significativo en la composición atmosférica.

Junge, concluye que el SO<sub>2</sub> total en la atmósfera se ha incrementado en el orden de 30% en los últimos 50 años (1968) debido a las emisiones contaminantes. Estima en el presente que las concentraciones de fondo está en el rango de **0.015-0.02ppm (40-56 µg/m<sup>3</sup>)**.

#### 4.1.2.3. Asimilación y remoción de ozono

A través de la turbulencia y difusión, las sustancias liberadas al nivel del suelo eventualmente estarán expuestas a condiciones en la atmósfera superior y recibirán fotones de alta energía que las romperán en moléculas más estables. En estas regiones que el oxígeno molecular es disociado, y a alturas por encima de las 50 millas, el oxígeno existe exclusivamente en forma monoatómica. En niveles más bajos, donde las concentraciones son mayores, el oxígeno monoatómico, reacciona parcialmente para formar oxígeno biatómico y

triatómico. La región de mayor concentración de ozono está localizada entre 10 y 20 millas sobre la tierra. Las reacciones del oxígeno en la atmósfera superior se muestran en las siguientes ecuaciones:



Donde M representa un tercer cuerpo receptor de energía.

Es generalmente asumido que, a través de las mezclas continuas que se dan a lugar en la atmósfera, algo del ozono es llevado hacia abajo para establecer concentraciones de **0.03 ppm (65 µg/m<sup>3</sup>)** de ozono normalmente encontradas en la atmósfera baja.<sup>6</sup>

#### 4.1.3. Efectos biológicos por inhalación y deposición aérea

##### 4.1.3.1. Efectos sobre las aves y mamíferos salvajes (inhalación)

Generalmente, la aparición del hombre no ha alterado la vida de las aves y mamíferos salvajes; sin embargo, ha incrementado la frecuencia de episodios catastróficos localizados. Si la tendencia actual del incremento de los contaminantes continúa, el margen fisiológico de seguridad para los animales se estrecharía. Además, los efectos potenciales a largo plazo pueden no manifestarse por ellos mismos perceptivamente durante un periodo corto. (AIHA Air pollution manual pp. 55)

Newman, 1979, menciona que los efectos de los contaminantes del aire en las especies salvajes de aves y mamíferos, causan disminución en la población local. Los mayores efectos de la contaminación en el aire sobre la vida salvaje incluyen: mortalidad directa, enfermedades y daños relacionados a la industria,

estrés psicológico, anemia y bioacumulación. Algunos contaminantes han causado un cambio en la distribución de ciertas especies salvajes.<sup>7</sup>

#### Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>)

- En los animales, las exposiciones a largo plazo a los óxidos de nitrógeno incrementa la susceptibilidad a infecciones respiratorias, disminuyendo su resistencia a tales enfermedades como neumonía e influenza.

#### Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)

- Diversos estudios experimentales en animales confirman los efectos pulmonares del dióxido de azufre por la ruta de inhalación. Las concentraciones elevadas (mayor a 5ppm de dióxido de azufre) para exposiciones de 14 días, pueden tener efectos pulmonares serios, como la destrucción del epitelio de los bronquiolos, colapso parcial de los alveolos e infiltraciones.<sup>8</sup> Sin embargo, las concentraciones menores a **0.1 ppm**, parecen no presentar efectos adversos.
- No se han realizado estudios sobre los efectos del SO<sub>2</sub> en órganos gastrointestinales en los animales.
- Se han realizado estudios en animales confirmando que el dióxido de azufre induce efectos oxidantes en los eritrocitos.
- No se han realizado estudios sobre los efectos del SO<sub>2</sub> sobre el sistema musculoesquelético en los animales.
- No se tiene a la fecha estudios concluyentes sobre los efectos del SO<sub>2</sub> sobre el hígado y riñones en los animales.
- Existe evidencia de reducción de los niveles de insulina en la sangre por efectos del SO<sub>2</sub>.
- El dióxido de azufre puede ocasionar irritaciones a los ojos de los animales.



### Ozono (O<sub>3</sub>)

- Los efectos del ozono son: la disminución de la función pulmonar, y síntomas de morbilidad respiratoria, inflamación y alteración de las defensas del huésped, y efectos crónicos en la estructura y funcionamiento del pulmón<sup>9</sup>

#### 4.1.3.2. Efectos sobre los líquenes (deposición aérea)

H.F. van Dobben et al. (2001) en un estudio realizado sobre diferentes especies de líquenes, concluye que las especies sensibles a un elemento, no son necesariamente sensible a otro elemento.<sup>10</sup>

Menciona además, que los contaminantes más importantes y tóxicos de la atmosfera son el SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub> para los líquenes. Casi todas las especies disminuyen su población, al incrementar las concentraciones de estos compuestos, por lo que afecta gravemente la diversidad de las especies. Entre todos los contaminantes estudiados, se encontró que la mayor correspondencia se da entre el SO<sub>2</sub>, y las sensibilidades calculadas en la presencia o ausencia de especies.<sup>11</sup>

### Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>)

Gombert et al (2001), mencionan numerosos estudios que muestran que la deposición de nitrógeno afecta a los líquenes, y que pueden usar efectivamente como indicadores de deposición de nitrógeno, basada en la bioacumulación de NO<sub>x</sub>.<sup>12</sup>

Además del efecto de bioacumulación, se presenta una correlación de 0.95 entre la exposición a NO<sub>2</sub> y el nivel de clorofila, en los estudios de Von Arb et al, 1990<sup>13</sup>

### Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)

Existen muchos factores conocidos que alteran la susceptibilidad de las plantas al SO<sub>2</sub>. Los factores ambientales, como alta intensidad de luz, alta humedad, o la humedad adecuada del suelo, incrementaran la susceptibilidad de la planta al favorecer mayores aperturas de las estomas. Las variaciones únicas de

temperatura pueden ser no muy importantes, y una nutrición en minerales baja puede incrementar la susceptibilidad a través de un efecto en el crecimiento.

La exposición crónica al  $\text{SO}_2$  puede resultar en clorosis (pérdida de clorofila) entre las vainas de la hoja, resultando en una apariencia de color general amarillo claro.<sup>14</sup>

Las especies diferentes de plantas e inclusive diferentes variedades de las mismas especies pueden tener diferentes susceptibilidades a los efectos inducidos por el  $\text{SO}_2$ . O'Gara y Thomas presentan para ello un listado de especies cultivadas y nativas y su factor de sensibilidad en función de la concentración necesaria para producir daño en 1 hora de fumigación, a 100% de humedad relativa, basado en una susceptibilidad relativa de la alfalfa igual a 1.

Aunque los líquenes son tolerantes a un amplio rango de condiciones ecológicas, por otra parte, son muy sensitivos a la contaminación atmosférica. El delicado equilibrio nutricional existente entre la microalga y el hongo es fácilmente alterado por contaminantes gaseosos del aire, entre otros  $\text{SO}_2$  y óxidos de Nitrógeno.

Los líquenes son conocidos por ser más sensibles que las plantas superiores. Nash & Gries, 1991. (Corinna et al, 1996)<sup>15</sup>. Purvis (2007), menciona que los líquenes al estar desprovistos de una cutícula protectora y raíces, absorben las sustancias de la atmosfera por deposición seca y húmeda.<sup>16</sup>

Hawksworth, en 1971, demuestra una correlación entre la contaminación ambiental y la ausencia de líquenes. Thomas H. Nash III, en 1973, realiza un estudio sobre 8 especies de líquenes, comprobando que las concentraciones normales de  $\text{SO}_2$  en las ciudades resultan en la ausencia de líquenes.<sup>17</sup>

Los líquenes se ven afectados especialmente por el  $\text{SO}_2$  emitido durante la combustión de carbón o gasolina. Los óxidos de azufre se combinan con la humedad del aire para formar ácido sulfúrico, que según la concentración van a afectar a los líquenes de diversos modos (Richardson y Nieboer, 1983):

- Provocando alteraciones de la membrana celular de los fotobiontes y causando pérdida de cationes K<sup>+</sup>.
- Inhibiendo las enzimas de la fotosíntesis.
- Alterando la composición de la clorofila y transformándola en feofitina, un pigmento pardo sin actividad fotosintética.

Estos mecanismos, al inhibir los procesos de fotosíntesis, acaban por causar la muerte de los líquenes.

### Ozono (O<sub>3</sub>)

No existen muchos estudios relacionados a los efectos del ozono sobre los líquenes. Un estudio realizado por Sigal et al, 1986, sobre los efectos del ozono en el líquen *Lobaria pulmonaria*, se encontró reducciones significantes en la fijación del nitrógeno y el proceso de fotosíntesis en valores de 100% y 90%, respectivamente, además del aparente blanqueamiento del tallo. <sup>18</sup>

Es posible que una especie de líquen sea resistente a un contaminante, vulnerable a otro, o también indiferente.

Gombert et. Al. (2005) presenta una tabla de la sensibilidad de más de 40 tipos de líquenes al NO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub>. Como ejemplos tenemos que:

- El líquen *Lecanora conizaeoides* Nyl, es resistente al NO<sub>2</sub>, pero sensible al O<sub>3</sub>.
- El líquen *Hypogymnia tubulosa* (Schaer.) Hav. es ligeramente resistente al NO<sub>2</sub>, y ligeramente resistente al O<sub>3</sub>.
- El líquen *Amandinea punctata* (Hoffm.) Coppins y Scheideg, es indiferente al NO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub>.
- El líquen *Candelaria condolor* (Dicks.) Steiner, es ligeramente sensible al NO<sub>2</sub> y ligeramente resistente al O<sub>3</sub>.
- El líquen *Lecanora carpineae* (L.) Vain, es sensible al NO<sub>2</sub> y resistente al O<sub>3</sub>.

#### 4.1.4. Aplicación de toxicología, epidemiología y ecotoxicología a las guías de calidad del aire.

Los contaminantes clásicos, a excepción del monóxido de carbono y plomo, (ozono, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre, y partículas con diámetro menor a 10 micrones) ejercen sus efectos adversos primarios a nivel del árbol respiratorio, difícilmente pasan a la sangre y/o bioacumulan.

Los Organismos Nacionales e Internacionales, como la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), y la Organización Mundial de la Salud – Región Europa (OMS-Europa), establecen concentraciones de referencia a los contaminantes clásicos, que son valores referenciales de un contaminante en el aire, bajo del cual es probable que la salud humana no se exponga a un riesgo perjudicial. La EPA los denomina “Air Quality Standards” (Estándares de Calidad de Aire, ECA) y la OMS-Europa los llama “Air Quality Guidelines” (Guías de Calidad de Aire, GCA).

El cálculo de la Concentración de Referencia se realiza por estudios toxicológicos (pruebas en laboratorio), y estudios epidemiológicos (comparación entre los niveles de calidad del aire y el efecto en la salud de la población expuesta).

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (EPA), presenta una propuesta genérica para calcular la Dosis de Referencia (CRf).

La CRf se define como *“un estimado (con un espaciamento de incertidumbre quizás de un orden de magnitud), de la exposición inhalatoria diaria de la población humana (incluyendo subgrupos sensibles), a la cual es probable que no se tenga riesgo apreciable de efectos perjudiciales durante una vida. Puede ser derivado del Nivel No Observado de Efecto Adverso (NOAEL), el Nivel de Efecto Adverso Mas Bajo Observado (LOAEL), o Concentración Punto de Referencia (Benchmark Concentration, BMC), con factores de incertidumbre aplicados generalmente a reflejar limitaciones de los datos usados. Estas ecuaciones son utilizados en las evaluaciones de salud no cancerígenas de la EPA”* (Principles of Toxicology for the Industrial Hygienist pp. 306)

Otros conceptos derivados son:

- Concentración de Referencia Subcrónica ( $CR_{fLP}$ ), es un estimado (con incertidumbre de una orden de magnitud), de la exposición por inhalación continua por una duración subcrónica (hasta el 10% de la vida promedio) de la población humana (incluyendo subgrupos sensibles) que es probable que pueda existir sin un riesgo apreciable de efectos dañinos durante la vida.
- Concentración de Referencia Crónica ( $CR_{fCR}$ ), es un estimado (con incertidumbre de una orden de magnitud), de la exposición por inhalación continua por una duración subcrónica (hasta una vida promedio) de la población humana (incluyendo subgrupos sensibles) que es probable que pueda existir sin un riesgo apreciable de efectos dañinos durante la vida.

El concepto de CRf se aplica especialmente para sustancias de acción sistémica, que se absorben y luego se distribuyen por el organismo. Para aquellos contaminantes del aire que ejercen acción tóxica local, tales como los contaminantes clásicos, y para los cuales los NOAEL/LOAEL en humanos se definen en función de su concentración en vez de la dosis, se aplica el concepto de "Concentración de Referencia" (CRf) (CEPIS).

Debido a esto, los antecedentes sobre dosis-efecto tanto humanos como en animales son escasos y poco confiables, por lo tanto, los criterios de la relación Dosis-Respuesta se reemplazan por los relativos a curvas **Concentración-Respuesta** (CR), usando el nivel de concentración del contaminante en el aire como reflejo de la exposición. Se usaron las mejores curvas disponibles para derivar los niveles ambientales guía recomendados.

La ecuación siguiente muestra la forma de obtener una concentración de referencia a partir del NOAEL/LOAEL

Ecuación 1

$$CR_f = \frac{NOAEL \text{ ó } LOAEL}{FI \times FM}$$

Donde

CRf	:	Concentración de referencia ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
NOAEL	:	Nivel No Observado de Efecto Adverso ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
LOAEL	:	Nivel de Efecto Adverso Mas Bajo Observado ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
FI	:	Factor de incertidumbre (sin unidades) (1-10000) – usado para ajustar los datos de toxicidad las variaciones desconocidas. Es el producto de el Factor Intraespecies (1-10), Factor Interespecies (1-10), Ajuste a duración subcrónica a crónica (1-10), y Calidad de Bases de datos (1-10)
FM	:	Factor Modificante (sin unidades) – usado para convertir los NOAELs/LOAELs a Drfs, en un rango mayor a cero hasta diez, reflejando el juicio profesional de las incertidumbres no evaluadas en los FI; el valor por defecto de FM es uno.

Otra manera de determinar el CRf, de una manera alternativa al NOAEL/LOAE, es mediante el uso de la Concentración Punto de Referencia (Benchmark concentration, BMC). El BMC mide el cambio en la tasa de respuesta sobre el nivel natural o de fondo del contaminante. Esta tasa de respuesta varía en un rango de 5 a 10%, el cual es el limite de las respuestas típicamente observadas en experimentos sobre animales bien conducidos.

La ecuación siguiente muestra la forma de obtener una concentración de referencia a partir del BMC

#### Ecuación 2

$$CRf = \frac{BMC}{FI}$$

Donde

CRf	:	Concentración de referencia ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
BMC	:	Concentración Benchmark ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
FI	:	Factor de incertidumbre (sin unidades) (1-10000) – similar al del cálculo de CRf a partir de NOAEL/LOAEL.

Las diferencias entre el cálculo de CRf por medio de NOAEL/LOAEL y el BMC, es que el BMC permite comparar niveles de respuesta y representa al nivel de 0% respuesta; sin embargo son más complicados y consumen más tiempo.

Los experimentos para determinar el NOAEL/LOAEL o el BMC para determinar el CRf, se realizan de cuatro maneras, según la EPA:

- Una **exposición aguda**, es la exposición por vía oral, dérmica o inhalatoria entre 24 horas o menos.
- Una **exposición a corto plazo**, es la exposición repetida por vía oral, dérmica o inhalatoria entre 24 horas hasta 30 días.
- Una **exposición a largo plazo** (llamado por otros exposición subcrónica) es la exposición repetida por la ruta oral, dérmica o inhaladora entre 30 días y 90 días, (hasta aproximadamente 10% de la esperanza de vida de los humanos (70 años)).
- Una **exposición crónica**, es la exposición repetida por la ruta oral, dérmica o inhaladora entre 90 días y 2 años, típicamente en los estudios crónicos con especies animales de laboratorio. (aproximadamente mayor al 10% de la esperanza de vida de los humanos (70 años)).

La evaluación de los efectos adversos de tipo agudo y de tipo crónico de los contaminantes clásicos, se ha desarrollado en función de los niveles de contaminación del aire y se ha hecho dando prioridad a los relativamente abundantes datos obtenidos de estudios de exposición experimental controlados tanto en animales como en humanos voluntarios y estudios epidemiológicos poblacionales. Entre estos últimos destacan los estudios de series temporales y los estudios de cohortes de los de la década del 1990.

Gracias a estos antecedentes epidemiológicos, y a la calidad de la base de datos, se ha podido reducir los Factores de Incertidumbre para estos contaminantes, que varían del orden de 0,5 a 2.<sup>19</sup> (Por ejemplo, la EPA determinó que para establecer el estándar de Dióxido de Azufre, el factor de incertidumbre es 2, considerando a 1 tanto al factor intraespecies e

interespecies, por ser evaluado directamente sobre humanos, considerando además a los asmáticos, EPAQS, 1995)

Los estudios de serie temporales, estiman la influencia temporal (usualmente diaria) de las variaciones de la concentración del contaminante en la mortalidad o morbilidad, usando modelos estadísticos, uniendo el conteo diario de eventos a la salud y otros variables dependientes del tiempo. Estos incluyen principalmente estudios de mortalidad diaria, admisiones al hospital, y visitas al departamento de emergencias y medicina general. Estos estudios son usados principalmente para comparar los efectos (agudos) de los contaminantes a corto plazo.

Los estudios de Cohorte, estiman los efectos crónicos a la salud asociados a la contaminación al examinar el producto del riesgo a la salud (por ejemplo, muerte), en relación a la exposición promedio a la contaminación a largo plazo, usualmente comparando a la gente viviendo en lugares geográficamente diferentes. Estos estudios son usados principalmente para comparar los efectos (crónicos) de los contaminantes a largo plazo.

(OMS AGL 2005)

Finalmente se presenta a continuación unos conceptos, tablas y fórmulas de la EPA que ayudan a ilustrar de manera general los cálculos para aplicaciones ambientales:



### Ajuste de la Concentración a la duración de exposición

Los estudios toxicológicos disponibles, de los cuales se derivan los valores referenciales (LOAEL, NOAEL), encajan muy pocas veces (casi nunca) con el parámetro especies o duración del valor referencia. Por ejemplo, los valores CRf son por definición "una exposición continua.....población humana", y en los estudios toxicológicos se realizan sobre animales de laboratorio que son expuestos intermitentemente, por una duración mucho menor al tiempo de una vida humana, o en la cual poblaciones de trabajadores son expuestos sólo durante horas de trabajo. Es por ello que se requiere de un ajuste a una exposición continua equivalente, de tal manera que concuerde con la duración del valor de referencia.

El ajuste de la duración a un escenario de exposición continua se aplica regularmente como un procedimiento por defecto en los estudios con exposiciones repetidas. Operacionalmente, esto se alcanza aplicando el producto de  $C^n \times t$  tanto para el número de horas de un periodo de exposición diaria y al número de días por semana en el cual se ha realizado la exposición.

#### **Ecuación 3**

$$EC = C^n \times \frac{h}{24\text{horas}} \times \frac{d}{7\text{días}}$$

Donde

EC	:	Exposición al contaminante continua equivalente en mg/m <sup>3</sup>
C	:	Exposición al contaminante diaria intermitente en mg/m <sup>3</sup>
h	:	Número de horas de exposición diaria al contaminante, horas.
d	:	Número de días de exposición a la semana, días.
n	:	Valor empírico para ajustar el modelo

Por ejemplo, en un estudio de inhalación en el cual los animales han sido expuestos a 100 mg/m<sup>3</sup> de un contaminante por 6 horas, 5 días a la semana, el ajuste a una exposición continua equivalente se considerará ambas horas por día y por semana (n=1):

$$100 \text{ mg/m}^3 \times 6/24 \text{ horas} \times 5/7 \text{ días/semana} = 17.9 \text{ mg/m}^3$$

De la misma manera, los estudios ocupacionales sobre humanos suelen ser reportados en una ponderación de ocho horas (TWA) son también discontinuos. El ajuste de esta exposición para derivar un Concentración Humana Equivalente (CHE) se bajo la siguiente racionalización:

La ventilación del hombre en descanso es de 20m<sup>3</sup> diario para 24 horas, pero se asume que el trabajador durante 8 horas continuas, consume la mitad de su capacidad ventiladora porque los niveles de actividad es superior que al descansar o dormir. De esta manera, las concentraciones de 8 horas TWA se multiplican por el factor 10/20m<sup>3</sup>, y el producto se considera como una exposición continua.

El valor de n, en el producto C<sup>n</sup> x t varía de un rango de 0.8 a 3.5, dependiendo de la letalidad del contaminante. Un enfoque conservador es utilizar 1 como valor de n. El resultado de la Concentración continua, debe ser siempre menor para una mayor duración de la exposición, y debe ser mayor para una menor duración. (Tomado de la Publicación de la EPA "A review of the reference dose and reference concentration processes", Diciembre 2002).

Ecuación de la Concentración Potencial Total del Contaminante:

#### Ecuación 4

$$CPT = C \times TR \times DE$$

Donde

CPT	Concentración potencial total del contaminante (µg/m <sup>3</sup> ).
C	Concentración del contaminante (µg/m <sup>3</sup> ).
TR	Tasa de respiración (m <sup>3</sup> /día)
DE	Duración de la exposición (día)

Para los cálculos, la EPA provee de Parámetros de Exposición Estándar, que deben ser utilizados para el cálculo de la concentración:

**Tabla 13: Valores de Respiración por defecto por la EPA**

Tasa de Respiración	Hombre	Mujer	Niño
En descanso	7.3 L/min	6 L/min	4.8 L/min
Actividad Ligera	20 L/min	19 L/min	13 L/min
Volumen Respirado	23 m <sup>3</sup> /día	21 m <sup>3</sup> /día	15 m <sup>3</sup> /día

#### Evaluación de Riesgo a la Salud Humana por Ozono

La Guía de Calidad de Aire, Actualización Mundial 2005, por la OMS-Europa, hace un resumen de los mecanismos patogénicos de la toxicidad del ozono. Además en su anexo hace un listado extensivo de todos los estudios toxicológicos y epidemiológicos utilizados para generar la guía de 8 horas.

- La inhalación de ozono induce una inflamación difusa del todo tracto respiratorio, siendo la cavidad nasal y la zona de transición entre el conducto y región de intercambio de gases las regiones más susceptibles.
- El ozono afecta las defensas pulmonares por varios mecanismos: impedimento de la limpieza mucociliar, reducción de la actividad de los macrófagos, y efectos en los linfocitos. Hay evidencia de recuperación con una duración mayor de 3 días.
- Existe un grado de adaptación al ozono luego de exposiciones repetidas, debido al incremento de la eficiencia antioxidante del fluido de las capas epiteliales de las vías aéreas.
- A pesar de la reducción de la respuesta al ozono tras exposiciones repetidas, la inflamación pulmonar persiste, especialmente en los terminales bronquiales.
- Exposiciones prolongadas al ozono pueden causar alteraciones significantes a la estructura del pulmón.

**Tabla 14: Obtención de una Concentración de Referencia de Ozono para corto plazo (24 horas - 30 días)**

Referencia	Tipo de Estudio	Duración de la Exposición	Especie	NOAEL/LOAEL ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Línea Base / BMC ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) - [%] Efecto	HEC ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Tipo de Efecto	Factores de Incertidumbre						Valor de Referencia ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) Muestra
								A	H	L	S	D	Total	
Horstman et al. (EPA, 2006)	Agudo	3 horas x 4 días	Humanos Jóvenes, Intenso Ejercicio	245/SR	---	122.5	Sputum inducido indica inflamación	1	2	1	1	3	6	20.4
Horstman et al. (OMS-Europa, 2005)	Agudo	6.6 horas	Humanos Adultos	SR/160	---	160	Función pulmonar	1	2	1	1	3	6	26.6
Lee et al. (OMS-Europa, 2005)	Epidemiológico Agudo	1 hora	Humanos	---	SR/100 - 1.5-2%	100	Total	1	2	1	1	3	6	16.6
Boutin-Forzano et al. (OMS-Europa, 2005)	Epidemiológico Corto plazo	SR	Humanos	---	SR/10 - 6-10% admisión emergencia	NC	Asma	1	2	1	1	3	6	NC
Penttinen et al. (OMS-Europa, 2005)	Epidemiológico Corto plazo	4 días	Humanos	---	SR/10 - 4.3% enf. respiratoria	NC	Enf. Respiratoria	1	2	1	1	3	6	NC
Buchdahl et al. (OMS-Europa, 2005)	Epidemiológico Corto plazo	SR	Humanos niños	---	32.7/80 - 63% incremento en incidencia	80	Respiración Sibilante	1	2	1	1	3	6	13.3

A: animal - humano (interespecies), H: inter-individuo (intraespecies), L: Conversión LOAEL a NOAEL, S: Duración Subcrónica a Crónica, D: Eficiencia de la Base de datos,

SR: Sin referencia SC: No se puede calcular

(\*) Asumiendo una concentración base de  $75\mu\text{g}/\text{m}^3$

El primer valor de la tabla 13, nos sugiere que una exposición de  $245\mu\text{g}/\text{m}^3$  por 3 horas por día durante 4 días, equivale a una exposición continua semanal de  $245 \times \frac{3}{24} \times \frac{4}{7} = 17.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ . También debemos considerar se ha realizado el estudio con los sujetos en ejercicio intenso, por lo que se debe dividir entre 2, lo que da un valor de  $8.75\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Además, el factor de incertidumbre es de 6, por lo que el resultado final para establecer una concentración de referencia crónica es de  $2.91\mu\text{g}/\text{m}^3$  para una semana.

Por otro lado, la EPA establece el estándar de  $160\mu\text{g}/\text{m}^3$  para una exposición continua de 8 horas. (NAAQS, 2008), mientras que la OMS-Europa, recomienda una guía de  $100\mu\text{g}/\text{m}^3$  para una exposición continua de 8 horas (OMS-Europa, GCA 2005).

Si consideramos una exposición de 8 horas que alcanza el estándar OMS-Europa equivale a una exposición continua diaria de  $100\mu\text{g}/\text{m}^3 \times 8/24 = 33.3\mu\text{g}/\text{m}^3$ , y si consideramos una exposición de 8 horas que alcanza el límite del estándar EPA, esta equivale a una exposición continua diaria de  $160\mu\text{g}/\text{m}^3 \times 8/24 = 53.3\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Si queremos encontrar una exposición equivalente para una semana, la guía OMS-Europa sería de  $33.3/7 = 4.75\mu\text{g}/\text{m}^3$ , y el estándar EPA de  $7.6\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Además, se sabe que existe una recuperación del sistema respiratorio al estar expuesto a ozono, y considerando que la inflamación debido al ozono es mínima al estar expuestos a niveles tan bajos como  $2.91\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $4.75\mu\text{g}/\text{m}^3$  o de  $7.6\mu\text{g}/\text{m}^3$ , optamos por utilizar el valor obtenido por el cálculo de CRf con el uso del NOAEL. El valor más bajo es el de  $13.3\mu\text{g}/\text{m}^3$ , que sería tomado como referencia para una semana.

Sin embargo, la concentración natural del ozono está en el rango de 65 a  $75\mu\text{g}/\text{m}^3$ , llegando incluso a sobrepasar  $80\mu\text{g}/\text{m}^3$ , por fenómenos naturales como la radiación solar y el intercambio de gases tropósfera – estratósfera, haciendo muy difícil la aplicación del método toxicológico para estimar valores referenciales para exposiciones prolongadas.

#### 4.1.5. Método de muestreo por tubos de difusión

Un muestreador por difusión, o también muestreador pasivo (según terminología estadounidense), es un dispositivo capaz de tomar muestras de contaminantes en forma de vapor o gas en la atmósfera, a una tasa controlada por un proceso físico como difusión a través de una capa del aire estática o por permeabilidad a través de una membrana, sin incluir el movimiento activo del aire a través del muestreador (Berlín et al., 1987).<sup>20</sup>

El muestreo por difusión en el ambiente ocupacional se remonta al menos a la década de 1930, cuando lo importante era describir los contaminantes cualitativamente. El primer intento serio para aplicar científicamente el muestreo cuantitativo por difusión se dio en 1973 con Palmes al describir un muestreador para dióxido de azufre (Palmes et al., 1973)<sup>21</sup>.

La base teórica del muestreo por los procesos de difusión y permeación pueden ser derivados de la primera ley de difusión de pick de Fick, que resulta de las expresiones relacionadas al incremento de masa del muestreador por la gradiente de concentración, el tiempo de exposición, y el área del muestreador expuesta al ambiente contaminado (IUPAC, 1993).<sup>22</sup>

#### 4.1.5.1. Teoría de operación

Los muestreadores por difusión están basados en el movimiento de las partículas a través de un gradiente de concentración para condiciones estáticas que pueden ser definidas por la primera ley de Fick de difusión:

##### Ecuación 5

$$W = -DA \frac{dc}{dx}$$

Donde:

W = tasa de transferencia de masa, ng/s.

D = Coeficiente de difusión, cm<sup>2</sup>/s.

A = Área transversal del camino de difusión, cm<sup>2</sup>,

dc/dx = La tasa instantánea del cambio de concentración sobre el camino de difusión, (ng/cm<sup>3</sup>)cm<sup>-1</sup>

El signo menos muestra que el gradiente de concentración disminuye en la dirección de la difusión. La difusividad es una función de la sustancia específica y del medio a través del cual se está difundiendo. (Mike Ayers, Manual de control de la calidad del aire Mc GrawHill)

Considerando el cambio de concentración (C<sub>1</sub>-C<sub>0</sub>) sobre el camino total de difusión ( X<sub>1</sub> - X<sub>0</sub> = -L ), la ecuación se convierte en:

##### Ecuación 6

$$W = D \frac{A}{L} (C_1 - C_0)$$

Donde:

L = Longitud del camino (estático) de difusión, cm.

C<sub>1</sub> = Concentración ambiental del contaminante, ng/cm<sup>3</sup>

C<sub>0</sub> = Concentración del contaminante en la superficie de colección, ng/cm<sup>3</sup>

Cuando el medio de colección es efectivo, la concentración del contaminante en la superficie de colección ( $C_0$ ) puede asumirse que es cero, y multiplicando ambos lados de la ecuación por tiempo, se obtiene:

**Ecuación 7**

$$M = D \frac{A}{L} (C_1) t$$

Donde:

M = masa total transferida, ng

t = tiempo el cual la bolsa está expuesta al aire contaminado, s.

Reordenando la ecuación:

**Ecuación 8**

$$C_1 = \frac{M L}{D A t}$$

Los factores A y L dependen de la construcción del muestreador, el factor M se obtiene al medir la masa total del contaminante colectado por el muestreador, t es la duración de la exposición del muestreador a la atmósfera contaminada, y el factor final D es la propiedad individual de cada vapor o gas. También se conoce que el coeficiente de difusión es directamente proporcional a la temperatura absoluta T del vapor, elevado a 3/2 e inversamente proporcional a la presión atmosférica P.

**Ecuación 9**

$$D \propto \frac{T^{3/2}}{P}$$

Los muestreadores que están basados en el principio de permeación a través de una membrana, son especialmente útiles cuando el contaminante problema se encuentra mezclado con otros vapores o gases que interfieren o cuando se utiliza un medio colector líquido. La meta se convierte en identificar un material



de membrana que sea altamente permeable al contaminante de interés que a la mayoría de otros componentes en la atmósfera, o medio colector.

La determinación de concentraciones ambientales de un contaminante utilizando un dispositivo de permeación puede determinarse de la siguiente fórmula:

**Ecuación 10**

$$C = wk/t$$

Donde:

C = concentración del contaminante, ppm

w = masa del contaminante colectado,  $\mu\text{g}$

k = constante de permeación, ppm-horas/  $\mu\text{g}$ , y

t = tiempo de exposición, horas

La constante de permeación k, se determina experimentalmente y es una función del material membrana específico y el contaminante de interés. <sup>23</sup>

#### 4.1.6. Técnica del muestreo de dióxido de nitrógeno por difusión

Palmes y otros, en el año 1976, diseñaron unos tubos de difusión pasiva para coleccionar  $\text{NO}_2$ , en base la ley de Fick y las fórmulas desarrolladas en las ecuaciones del 1 al 6, mostradas anteriormente. En este acápite se desarrollará brevemente la aplicación estas ecuaciones con el 'muestreador de Palmes', por ser el primero que utilizó los tubos de difusión de manera cuantitativa, y sobre el cual se basan los tubos de difusión de dióxido de azufre y ozono.

En el artículo original 'Muestreadores personales para dióxido de nitrógeno' <sup>24 25</sup>, (véase referencias), estimaron el coeficiente de difusión del  $\text{NO}_2$  en aire de:  $0.154 \text{ cm}^2/\text{segundo}$ , para una temperatura de  $70^\circ\text{F}$  ( $21.1^\circ\text{C}$ ) y presión de una atmósfera.

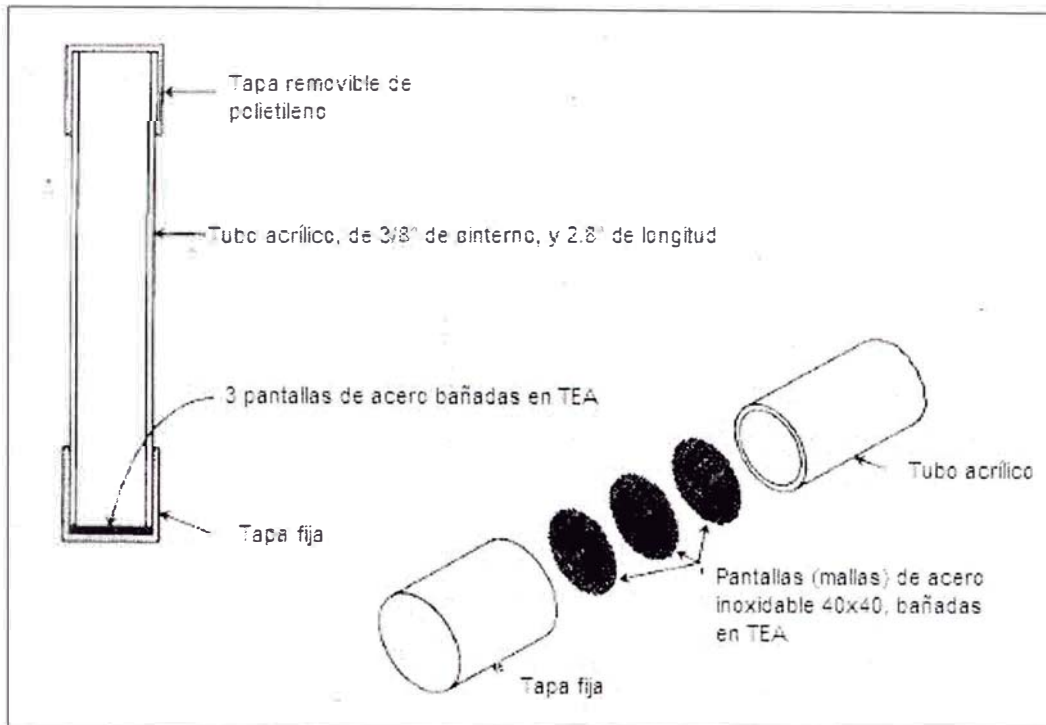
Los autores hacen notar que dado que el coeficiente de difusión varía proporcionalmente a  $T^{-3/2}$ , según se muestra en la ecuación 5. Sin embargo, se resalta que las ecuaciones 1 y 2 se consideran moles por centímetro cúbico, es decir volumen, y dado que el volumen es inversamente proporcional a la temperatura, de tal manera que al elevarse la temperatura, la concentración en unidades de masa por unidad de volumen disminuye proporcionalmente. Como consecuencia, la transferencia de gas se incrementa tanto como la raíz cuadrada de  $T$  (dado que  $T^{3/2}/T = T^{1/2}$ ), por lo que prácticamente existirá una pequeña variación con respecto a la temperatura, aproximadamente de 1% por 10°F debajo o por encima de 70°F (5.6°C por debajo o por encima de 21.1°C) Considerando por lo tanto que las correcciones necesarias para el uso en la Antártida sería menos de 4% a 5%

Por otra parte, Palmes et al, realizaron experimentos colocando los muestreadores en diferentes ángulos y vientos, y se encontró que la influencia de estos es mínima. Además se realizaron análisis luego de recolección en diferentes tiempos y concluyeron que los muestreadores son lo suficientemente estables para ser usados:

- a) Meses luego de la preparación y antes de la exposición
- b) Meses luego de la exposición y antes del análisis

Los muestreadores utilizados en la evaluación en Antártida fueron similares al de Palmes en 1976. El diseño adoptado se muestra en la ilustración 18.

**Ilustración 18: Diagrama esquemático del muestreador de NO<sub>2</sub>**



El tubo de acrílico comercial de  $\frac{1}{2}$ " (1.27cm) de diámetro externo, y de  $\frac{3}{8}$ " (0.95 cm) de diámetro interno, tiene una longitud de 2.8" (7.1cm) y sección de  $0.71\text{cm}^2$  de área, de tal manera que el ratio área/longitud es de 0.1cm.

En el interior se encuentran 3 pequeñas mallas de acero inoxidable de 40x40 por pulgada y diámetro de alambre de 0.010 pulgadas bañados con trietanolamina (TEA) y quedan apiladas en el fondo de una tapa de polietileno de baja densidad de  $\frac{1}{2}$ " x  $\frac{1}{2}$ ".

El muestreador pesa aproximadamente un cuarto de onza. Está diseñado para ser usado con el extremo expuesto hacia abajo dado que la difusión es independiente de la gravedad y que previene que el polvo o agua caiga dentro de la abertura del tubo.

Debe resaltarse que el polvo en el aire será transferido muy inefficientemente por difusión (movimiento browniano). Por ejemplo, una densidad de partícula de 0.5 micrómetros tendría un coeficiente de difusión en el aire de aproximadamente  $10^{-5}$  veces una molécula de NO<sub>2</sub>.

La selección del agente reactivo de muestreo, TEA y los procedimientos analíticos estuvieron basados en el trabajo de Levaggi et Al (1973)<sup>26</sup> y Blacker (1973)<sup>27</sup>

Las ventajas de usar TEA son las siguientes:

- a) Captura el NO<sub>2</sub> muy eficientemente
- b) Tiene alta viscosidad y baja presión de vapor, haciendo posible cubrir materiales sólidos para dar superficies de muestreo estables
- c) El complejo TEA-NO<sub>2</sub> es muy estable, de tal manera que el NO<sub>2</sub> atrapado puede ser almacenado por tiempos considerables antes de su análisis.

El muestreo con este muestreador de Palmes Muestreo es simple, se expone el muestreador al remover las tapas protectoras, se anota el tiempo inicial de la exposición, y el término de la misma, asimismo se debe mantener el muestreador a temperatura ambiental hasta ser analizado.

El análisis se realiza con un agente reactivo combinado, la sulfanilamida (2mg sulfanilamida + 5 ml de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> concentrado diluido en 100ml con agua) y 1/ 10 partes de reactivo N-1Naphtylethylene-diamine-dihydrochloride (NEDA) (70mg NEDA disuelto en 50ml de agua). El reactivo combinado es estable por varias semanas en un refrigerador. Se resalta que el procedimiento original de Levaggi (1973) para el análisis de contaminación del aire, se añadió agua oxigenada antes de agregar el sulfanilamida y el NEDA, probablemente para eliminar o reducir la interferencia con SO<sub>2</sub>.

En el laboratorio, la cantidad de NO<sub>2</sub> transferida,  $Q_{NO_2}$ , puede ser calculada si uno asume que la concentración de NO<sub>2</sub> en las pantallas es cero y se conoce  $C_1$ , A, L, t y el coeficiente de difusión del NO<sub>2</sub> en el aire. Por ejemplo, para un muestreador según descripción y esquema de la Ilustración 18, la exposición de una hora a una concentración ambiental de 1ppm, resulta en una colección de 2.3 nanomoles de NO<sub>2</sub>. Asumiendo la conversión cuantitativa de NO<sub>2</sub> a NO<sub>2</sub><sup>-</sup> y una unidad de absorbancia por 40 nanomoles NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, los 2.3 nanomoles capturados darían una absorbancia 0.058 mayor que el blanco, es decir, cerca de 12 veces el valor del blanco.

Como en todos los métodos de NO<sub>2</sub> dependen de la diazotización, existe una conversión fraccional de NO<sub>2</sub> a NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, la conversión incrementa como la concentración de NO<sub>2</sub> muestreado disminuye, y que la concentración de NO<sub>2</sub> muestreado se aproxima a cero cuando la eficiencia de conversión de NO<sub>2</sub> a NO<sub>2</sub><sup>-</sup> se aproxima a la unidad. En el dispositivo descrito, la concentración se aproxima mucho a cero en el punto de muestreo. Usando el mejor estimado posible para el coeficiente de difusión de NO<sub>2</sub> en aire, parece que el NO<sub>2</sub> es convertido cuantitativamente al nitrito al muestrear con el muestreador.

#### 4.1.7. Técnica del muestreo de ozono por difusión

La absorción del ozono se da a lugar por la reacción con 1,2-di-84-pyridyl-etileno (DPE); el ozónido formado sufre una descomposición y produce piridylaldehído (PA).<sup>28</sup>

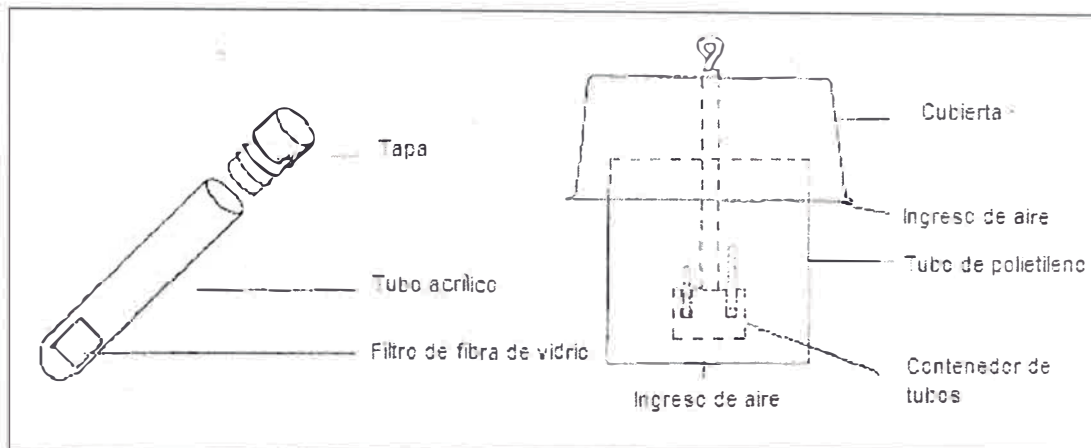
El diseño del muestreador es similar al de Palmes, pero tiene otras dimensiones, y materiales. En el fondo del tubo acrílico se encuentran 2 filtros de fibra de vidrio "Whatman EPM 2000" como sorbentes sólidos por su superficie larga. En un ambiente libre de ozono un pedazo del filtro de fibra de vidrio se baña en la solución de DPE y se seca para luego ser cortado y colocado en tubos de poliestireno de 4.9cm de largo y 0.9cm de diámetro.

La cantidad de piridylaldehído (PA) es determinado espectrofotométricamente por el método methyl -benzothiazolinone-hydrazone (MBTH) en ácido acético. La reacción toma lugar durante una hora de incubación a 30°C y el producto es un azino amarillo. La absorbancia del azino es medida a 442nm. Esta cantidad de azino es proporcional al ozono colectado.

Como las moléculas orgánicas son sensibles a la radiación UV, el tubo de muestreo tuvo que protegerse de la luz directa del sol. Para ello se construye una olla tapada para proteger los tubos. El tamaño de la olla es diseñada para permitir un intercambio libre de aire, favorecida por convección.

El ozono es un material no sensible al PVC seleccionado.

**Ilustración 19: Diagrama esquemático del muestreador de Ozono**



Límite de detección:

El diseño del muestreador establece un límite de detección correspondiente de  $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para una semana de exposición.

La fuente original indica los siguientes resultados de rendimiento por el diseño de este método:

- Se demostró una correlación del 89% con respecto a las concentraciones generadas en condiciones de laboratorio.
- Se demostró una correlación del 83% con respecto a las concentraciones generadas en condiciones de campo, comparando contra un instrumento monitor continuo UV.

Notas generales:

- La desviación estándar es de 0.005 u.a. a 442 nm
- La media de un muestreador blanco es  $0.012 \pm 0.0032$  unidades de absorción (u.a.) al 95% de confianza (  $n = 8$  )

El ozono es determinado como equivalente de aldehído; sin embargo, la descomposición no es estequiometría.

La tasa de decaimiento del ozono en el sistema de muestreo no es conocido. Sólo se puede calcular el coeficiente para todo el sistema.

La influencia del almacenamiento no es estadísticamente significativa, el valor de absorción puede disminuir de 0.015 a 0.011 unidades de absorción sobre 28 días antes de la exposición. Luego puede recuperar a 102 por ciento luego de la exposición.

La influencia de la humedad genera un efecto asistemático. Puede incrementar la recuperación o disminuirla en un rango menor de +/- 15%.

La influencia de la temperatura es mínima. A mayor temperatura ambiental puede disminuir la eficiencia de absorción debido al secado del ácido acético en la fibra de vidrio.

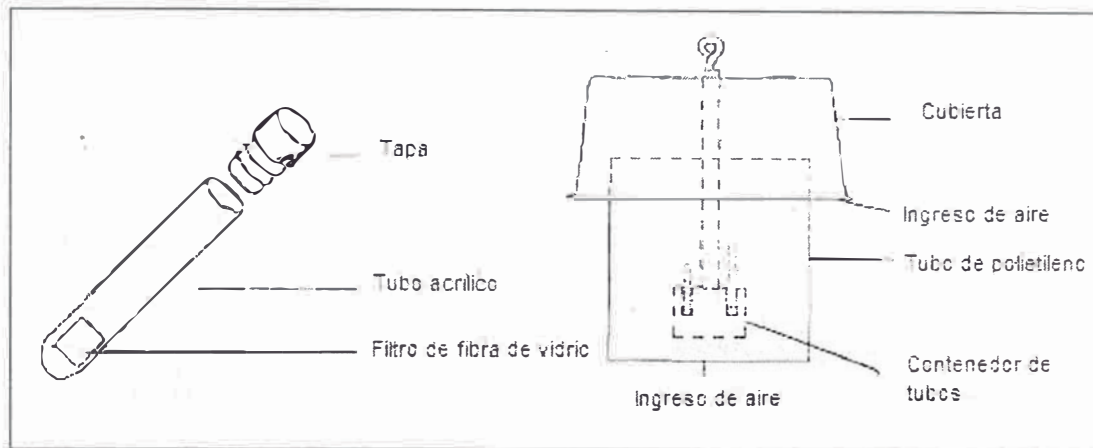
#### 4.1.8. Técnica del muestreo de dióxido de azufre por difusión

D.B. Orr et al., en 1987, desarrolló un muestreador para el dióxido de azufre, tomando filtros impregnados en carbonato de potasio y glicerol.<sup>29</sup> Los muestreadores utilizados en la presente tesis, actúan bajo el mismo principio.

El diseño de este muestreador consiste en un estuche de polipropileno, con una abertura de 20mm de diámetro, cubierto con una membrana sostenida con una malla metálica para protegerlo contra la influencia del viento.

La determinación del SO<sub>2</sub> absorbido se realiza por cromatografía iónica.

**Ilustración 20: Diagrama esquemático del muestreador de SO<sub>2</sub>**



Límite de detección:

El diseño del muestreador establece un límite de detección correspondiente de 0.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para una exposición de 14 días.

Notas:

- El fabricante de los muestreadores de SO<sub>2</sub> indica que no existe efectos externos por temperatura entre 10 y 30°C, tampoco existe efectos por humedad entre 20% y 80%.
- Se pueden almacenar los muestreadores hasta 12 meses antes de su uso, y hasta 4 meses después de su uso

4.1.9. Estimación de distribución espacial de los contaminantes

Cuando se sabe que una región está contaminada, puede haber la necesidad de estimar la distribución espacial (patrón) y la cantidad total de contaminante presente sobre una región para evaluar la situación y planear las posibles acciones correctivas.

El método Kriging, es un modelo usado comúnmente en la contaminación ambiental, es una estimación ponderada del promedio móvil, basado en la



geoestadística. Kriging determina los pesos usando la correlación espacial del contaminante en diferentes puntos de monitoreo.

De esta manera, la media es estimada para cada nudo de una malla imaginaria, sobre la región de interés. Kriging permite estimar la variancia de cada media y por ende, evaluar datos adicionales en cualquier porción de la región.

Una dificultad del uso de kriging, es la estimación de las correlaciones, particularmente cuando el área no se distribuye regularmente. Esta aplicación del kriging a problemas de contaminación han sido usados por Bromenshenk et. Al. (1985), Gilbert and Simpson (1985), Flatman y Yfantis (1984), Flatman (1984), Journel (1984), Eynon y Switzer (1983), Sophocleous (1983), Hughes y Lettenmair (1981) y Delhomme (1978, 1979).

#### 4.2. Física de las partículas en el aire y técnica de medición

Fuchs, 1964, define a los aerosoles en dispersión como aquellos que se forman por el pulverizado o atomización de los sólidos y líquidos, y por la transferencia de polvos a un estado de suspensión por la acción de corrientes de aire o vibración. Sin importar el tamaño; la condensación de las partículas del líquido se llama neblina, y la condensación de las partículas sólidas se llama polvo.

Las propiedades de las partículas dependen de su tamaño, área y peso. Estas distinciones son importantes porque están relacionadas con la retención y toxicología. (Air Pollution tomo 1) <sup>31</sup>

La medición de las partículas se realiza sobre la silueta de las mismas con la ayuda de un microscopio óptico o electrónico. El tamaño de las partículas está relacionado con el perímetro de la partícula, o el diámetro del área de la partícula, el cual es el diámetro del círculo que tiene la misma área que la silueta de la partícula.

Debido a que existe una gran cantidad de variaciones en la densidad de la partícula, y la naturaleza agregada de las partículas atmosféricas, fue necesario definir otra cantidad de medida del tamaño de las partículas, una cantidad relacionada con la el comportamiento aerodinámico de la partícula.

El radio aerodinámico ( $r_s$ ), se define como el radio de la esfera que tiene la misma velocidad de caída que la partícula, y una densidad igual a  $1\text{gm/cm}^3$ .

La caída de la partícula en el aire depende del peso de la partícula y arrastre aerodinámico. Si una partícula cae por acción de la gravedad a partir del estado de reposo, puede pasar sucesivamente por tres zonas de movimiento: laminar, intermedia y turbulento.

La ley general de la resistencia, independientemente del tipo de movimiento, está dada por:

**Ecuación 11**

$$F_R = - \frac{C\rho Au^2}{2g}$$

$F_R$ : Fuerza de resistencia

$\rho$ : Peso específico del fluido

A: Proyección del área de la partícula, normal al movimiento

u: Velocidad de la partícula relativa al aire

C: Coeficiente adimensional de resistencia. Es función del número de Reynolds.

El número de Reynolds (Re) determina el carácter del movimiento. Convencionalmente se adoptan los siguientes valores:

Zona laminar:  $Re < 2$

Zona intermedia:  $2 < Re < 500$

Zona turbulenta:  $500 < Re$

La velocidad terminal  $u_t$  para cada tipo de zona se determina al equilibrar el peso con la fuerza de resistencia. De esta manera se obtienen los siguientes valores:

Velocidad terminal en zona laminar:  $u_{tt} = 0.03\rho_s D^2$

Velocidad terminal en zona intermedia:  $u_{tt} = 0.35\rho_s^{2/3} D$

Velocidad terminal en zona turbulenta:  $u_{tt} = 16\rho_s^{2/3} D^{1/2}$

A continuación se muestra una tabla que compara las velocidades terminales de partículas de peso específico de 2.7, pero de diferente tamaño.

Diámetro en micrómetros	Velocidad Terminal	Valor en cm/s	Zona
2500	$16 \times 2.7^{1/2} \times 2500^{1/2}$	1300	Turbulenta
25	$0.008 \times 25^2$	5	Laminar
2.5	$0.008 \times 2.5^2$	0.05	Laminar

De los valores obtenidos se concluye que las partículas finas no tienen prácticamente poder de movimiento independiente del aire en que se encuentran dispersas.

Este ejemplo demuestra que las partículas grandes tienen elevadas Velocidades Terminales por lo que se les denomina inerciales, ya que poseen el suficiente peso para caer por gravedad. En cambio, las partículas finas tienden a formar suspensiones estables en el aire.

En general puede considerarse a las partículas inerciales a las mayores a 50 micrómetros, y partículas finas a aquellas que tienen un máximo de 20 micrómetros.

En la tabla 7 se muestra un cuadro comparativo entre las características principales entre partículas inerciales y las partículas finas (por CEPIS).<sup>32</sup>

#### 4.2.1. Efectos de la contaminación por partículas

Como se ha explicado, el tamaño de la partícula determina cuanto tiempo esta partícula permanecerá en el aire y por ende como una nube de aerosoles podría dispersarse antes de sedimentar. El tamaño de las partículas también determina el lugar de deposición, siendo esta característica de importancia fundamental en los efectos a la salud.<sup>33</sup>

Las partículas grandes, hasta varios cientos de micrómetros de diámetro, sedimentarán con rapidez, depositándose en la nariz y garganta, y pueden causar efectos en estos sitios. La nariz actúa como filtro y humedece el aire. La eliminación de partículas a este nivel se da por estornudos, mucosidad o por vía salivar.

Las partículas más pequeñas menores a 10 micrómetros de diámetro, serán colectadas en las vías respiratorias superiores (bronquios y bronquiolos), desde

donde se pueden limpiar por el escalator mucociliar (cilios moviéndose hacia arriba en el tracto respiratorio).

Las partículas muy pequeñas, llamados polvos respirables y generalmente menores a 3 – 5  $\mu\text{m}$ , tienen una velocidad de sedimentación muy pequeña, por lo que penetran directamente en la región de intercambio alveolar de gases, desde la cual la limpieza es muy lenta, quedando la mayor parte de partículas retenidas en las paredes alveolares.<sup>34</sup>

Tabla 15: Comparación entre las partículas inerciales y las partículas finas

PARTICULAS INERCIALES	PARTICULAS FINAS
Caen por acción de la gravedad	Forman suspensiones estables
Constituyen el mayor peso (80%)	Constituyen el mayor número (92%)
No tienen significación higiénica	Tienen importancia higiénica
Experimentan aceleraciones en distancias apreciables	Alcanzan la Velocidad Terminal en distancias muy pequeñas
Pueden separarse por gravedad e impacto	Se separan mediante grandes superficies de contacto (filtración)
No difractan la luz	Tienen gran poder de difracción de la luz
El análisis químico informa solo sobre las partículas gruesas	Requieren otros métodos de análisis: recuento al microscopio, filtración y evaluación óptica, difracción de la luz
Muestreo por sedimentación	Muestreo por aspiración
Difícilmente controlables	Son controlables por el movimiento del aire

Para una evaluación de riesgos a la salud por partículas se debe considerar los conceptos de la deposición de estas en diferentes regiones del aparato respiratorio, de tal manera que se clasifican según su nivel de riesgo:

- a) Masa inhalable, para aquellos materiales que son peligrosos cuando se depositan en algún lugar del tracto respiratorio
- b) Masa torácica, para aquellos materiales que son peligrosos cuando se depositan en cualquier lugar del pulmón o región de intercambio de gases
- c) Masa respirable, para aquellos materiales que son peligrosos cuando se depositan en la región de intercambio de gases.

El concepto de masa inhalable se refiere a aquella fracción del total de partículas en suspensión (PTS) que por sus características aerodinámicas podrán ser capturadas por el sistema respiratorio, suelen ser menor a 50 $\mu$ m de diámetro aerodinámico.

El concepto de masa respirable se refiere a la fracción de la masa inhalable, que no será expulsado fuera de los pulmones, aproximadamente partículas con un diámetro aerodinámico de 5 a 10  $\mu$ m.

#### 4.2.2. Técnica del muestreo del aire

Estas consideraciones para clasificar las partículas por sus características aerodinámicas, inerciales o finas; y por su deposición en el sistema respiratorio, masa inhalable, torácica o respirable; condujeron al establecimiento de Convenios de Muestreo.

Fue en Johannesburg, 1959, cuando se adoptó la definición polvo respirable, acuñado por el Consejo de Investigación Médica Británico (BMRC), en términos de la velocidad terminal y de densidad de partículas, debido a que las fracciones inhalables variarán según el movimiento del aire, cadencia respiratoria, uso de boca o nariz, y las fracciones torácicas y respirables variarán por la morfología de cada individuo.

Se convino que el ingreso de las partículas hasta el pulmón se alcanza:

Al 100% por las partículas pequeñas, menores a 1 $\mu$ m de diámetro,

Al 50% de las menores a 5  $\mu$ m,

Y las mayores a 7.1 $\mu$ m no logran penetrar al pulmón.

El conjunto de estas aproximaciones para el caso promedio se conoce como la Curva de Johannesurg. Gracias a los convenios se desarrollaron especificaciones que deben alcanzar los instrumentos de muestreo.

La Organización Internacional para la Estandarización, en la norma ISO 7708, define 4 fracciones principales, las cuales han sido obtenidas por descripciones matemáticamente exactas:

- a) Inhalable: Masa que es inhalada por la nariz y/o boca. Es una relación empírica la cual ha sido determinada por medidas de un túnel de viento y maniquís a escala real. Describe la eficiencia a la cual la boca y la nariz extraen partículas de las corrientes de aire sopladas más allá de la cara.
- b) Torácica: Es la fracción de masa de partículas inhalables que penetra el sistema respiratorio más allá de la laringe. Es de mucha importancia porque está relacionado con enfermedades como la bronquitis, asma, y otras enfermedades de las vías superiores.
- c) Respirable: Es la fracción de masa de partículas inhalables que penetra la región sin cilios del pulmón. Es de significado para las enfermedades de las profundidades del pulmón, como la pneumoconiosis.
- d) Respirable de alto riesgo: Es aplicable a grupos vulnerables como los enfermos o niños.

Los valores numéricos de la convención de ISO se pueden resumir en la siguiente tabla:

**Tabla 16: Convenciones ISO**

Convención	Diámetro medio $\mu\text{m}$	Desviación Estándar Geométrica
Toraxico	10	1.5
Respirable	4	1.5
Respirable Alto Riesgo	2.5	1.5

La legislación ambiental de diferentes naciones ha tomado como referencia a la fracción torácica, mientras que la legislación laboral toma como referencia a la fracción respirable.

Una definición importante en la legislación ambiental de varios países, tales como el Perú y Estados Unidos es la de MP-10 ó PM-10

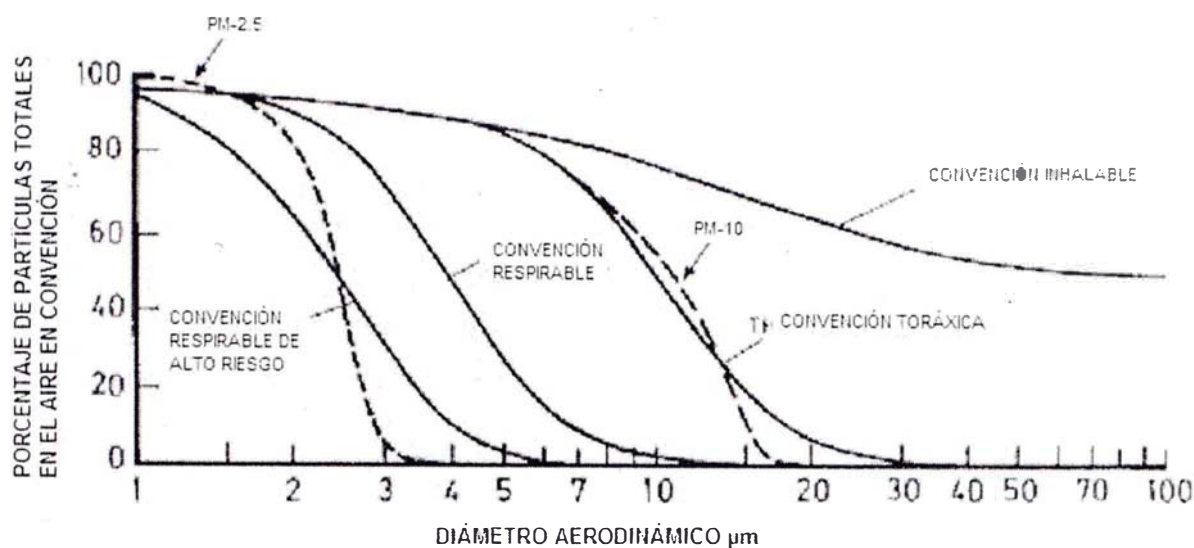
Material Particulado con diámetro menor a 10 micrómetros (PM-10): Se define como la concentración de la masa en partículas que pasan a través de un ingreso selectivo de tamaño que tiene una eficiencia del 50% al diámetro aerodinámico de 10 micrómetros.

En otras palabras, incluye a las partículas menores a 10 micrómetros con una eficiencia mayor al 50%, y a las mayores de 10 micrómetros con una eficiencia menor del 50%.

La relación entre la Convención ISO y la definición PM-10 se encuentran graficados en la siguiente ilustración



**Ilustración 21: Convenciones de masa de partículas ISO**



Adaptado al español de: Harrison, R. M. (1999), 'Measurements of concentrations of air pollutants', Air Pollution and Health, Academic Press, Londres.

Se puede observar que la convención ISO masa torácica corresponde muy cercanamente a la definición de muestreo de PM-10.

El D.S. N° 074-2001-PCM establece que se debe monitorear PM-10 en las evaluaciones ambientales. El método seguido para el muestreo de material particulado fue el publicado en el Código de Regulaciones Federales, Título 40: Protección al Ambiente, Parte 50, Apéndice J [40 CFR 50, APP. J]: "REFERENCE METHOD FOR THE DETERMINATION OF PARTICULATE MATTER AS PM10 IN THE ATMOSPHERE" - MÉTODO DE REFERENCIA PARA LA DETERMINACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO COMO PM10 EN LA ATMÓSFERA

#### 4.2.2.1. Definiciones

*Método Equivalente Federal (FEM)*, un método para medir la concentración de un contaminante del aire en el aire ambiente que ha sido designado como un método equivalente de conformidad con esta parte, que no incluye un método

para que un método equivalente designación ha sido cancelada de conformidad con el 53,11 o 53,16.

*Método de Referencia Federal (FRM)*, un método de muestreo y los análisis de aire ambiente para un contaminante atmosférico que se especifica como un método de referencia en un apéndice a la parte 50 de este capítulo, o un método que ha sido designado como un método de referencia de conformidad con esta parte, que no incluye un método para que un método de referencia designación ha sido cancelada de acuerdo con el § 53,11 o 53,16.

#### 4.2.2.2. Principio

Un muestreador de aire succiona el aire ambiental a un flujo constante mediante un ingreso de diseño especial (inlet), donde el material particulado en suspensión es separado inercialmente en una o dos fracciones más, entre en el rango de PM<sub>10</sub>.

Cada filtro se pesa (después de equilibrio de humedad) antes y después de su uso para determinar el peso neto (masa) debido a la ganancia de recogida de PM<sub>10</sub>.

El volumen total de aire muestreado, corregido a la condiciones EPA de referencia (25 C, 101,3 kPa), se determina a partir de las mediciones de caudal y el tiempo de muestreo. La concentración masiva de PM<sub>10</sub> en el aire ambiente se calcula como la masa total de partículas recogidas en el PM<sub>10</sub> rango de tamaño, dividido por el volumen de aire muestreado, y se expresa en microgramos por metro cúbico normal ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$  std).

Para PM<sub>10</sub> muestras tomadas a temperaturas y presiones muy diferentes de la condiciones de referencia EPA, estas concentraciones con corrección a veces difieren sustancialmente de las concentraciones reales (en microgramos por metro cúbico real), especialmente a grandes alturas. Aunque no es obligatorio, la concentración de PM<sub>10</sub> puede calcularse a partir de la concentración

corregida, utilizando el promedio de temperatura ambiente y la presión barométrica durante el período de muestreo.

El límite inferior de la gama de concentración de masa se determina por la repetitividad de filtro tara pesos, suponiendo que el aire nominal volumen de muestra para la toma de muestras. Para la toma de muestras que no tienen un filtro automático de cambio de mecanismo, el límite superior está determinado por el filtro de masa de carga más allá de que la toma de muestras ya no mantiene el caudal de funcionamiento dentro de unos límites debido al aumento de la caída de presión en toda la carga del filtro. Este límite superior no puede ser especificado, precisamente porque se trata de una compleja función del tamaño de las partículas ambiente y el tipo de distribución, humedad, tipo de filtro, y quizá otros factores. Sin embargo, todos los muestreadores deben ser capaz de medir las 24 horas  $PM_{10}$  concentraciones en masa de por lo menos  $300 \mu\text{g} / \text{m}^3 \text{std}$  al tiempo que se mantiene el caudal de funcionamiento dentro de los límites especificados.

#### 4.2.2.3. Requisitos de instrumentación

Debido a que el tamaño de las partículas que componen las partículas ambiente varía en una amplia gama y la concentración de partículas varía con el tamaño de las partículas, es difícil definir la precisión absoluta de los muestreadores de  $PM_{10}$ .

La parte 53 del título 40 del Código Federal de Regulaciones ofrece especificaciones para la toma de muestras de eficacia muestreadores de  $PM_{10}$ . Estas especificaciones requieren que la concentración esperada en masa calculada para un candidato de toma de muestras de  $PM_{10}$ , en la toma de muestras de un determinado tamaño de las partículas de distribución, con una tolerancia de  $\pm 10$  por ciento de la calculada para la toma de muestras de un ideal cuya eficacia es de muestreo explícitamente. Asimismo, el tamaño de las partículas de un 50 por ciento de efectividad de muestreo está obligado a ser de  $10 \pm 0,5$  micrómetros. Otras especificaciones relacionadas con exactitud

aplicará a la medida del caudal y la calibración, filtro de los medios de comunicación, analítico (un peso) los procedimientos, y el artefacto.

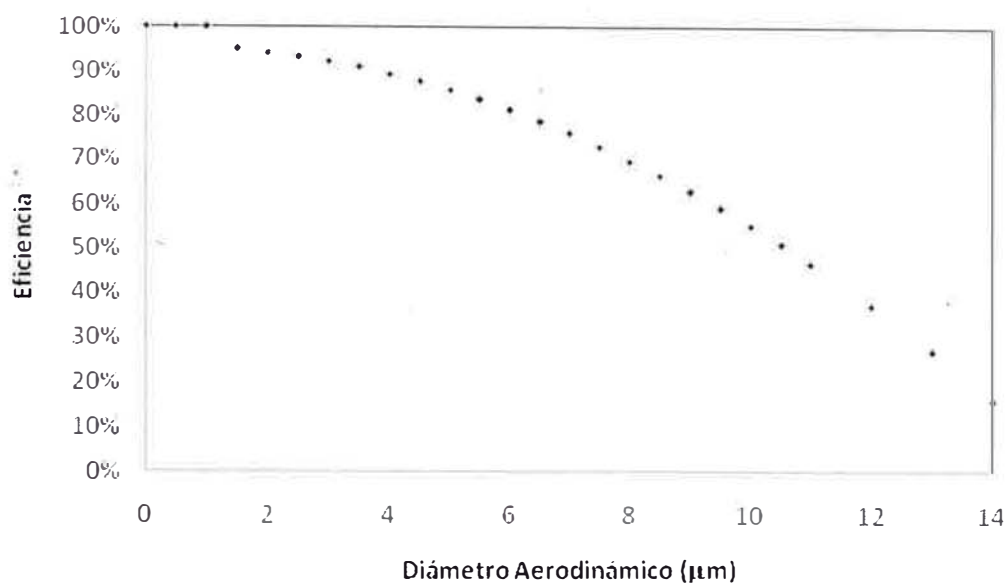
**Tabla 17: Especificaciones de rendimiento para muestreadores PM-10**  
[Tomado de la Tabla D-1]

Parámetro de rendimiento	Unidades	Especificaciones
1) Efectividad del muestreo		
A. Partículas líquidas	Por ciento	La concentración esperada en masa debe encontrarse con una tolerancia entre $\pm 10$ por ciento del predicho por un muestreador ideal.
B. Partículas sólidas	Por ciento	La efectividad del muestreo no es mayor al 5% por encima del obtenido para partículas líquidas del mismo tamaño.
2) 50 % de efectividad	$\mu\text{m}$	$10 \pm 0.5 \mu\text{m}$ diámetro aerodinámico.
3) Precisión	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ o por ciento	$5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ o 7 por ciento de tres muestreadores colocados.
4) Estabilidad en tasa de flujo	Por ciento	Tasa de flujo promedio sobre 24 horas dentro de un intervalo de $\pm 5$ por ciento of tasa inicial de muestreo; todas las tasas de flujo medidas sobre 24 horas entre $\pm 10$ por ciento de la tasa inicial de flujo.

En la tabla 9, y la ilustración 22, se muestra las características de un muestreador ideal EPA para partículas PM-10.

**Tabla 18: Concentración de masa esperada por muestreador PM-10**

Tamaño de partícula ( $\mu\text{m}$ )	Muestreador ideal		
	Efectividad de muestreo	Intervalo de concentración de masa ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Concentración de masa esperada ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
<1.0	1.000	62.813	62.813
1.5	0.949	9.554	9.067
02.0	0.942	2.164	2.038
02.5	0.933	1.785	1.665
03.0	0.922	2.084	1.921
03.5	0.909	2.618	2.380
04.0	0.893	3.211	2.867
04.5	0.876	3.784	3.315
05.0	0.857	4.300	3.685
05.5	0.835	4.742	3.960
06.0	0.812	5.105	4.145
06.5	0.786	5.389	4.236
07.0	0.759	5.601	4.251
07.5	0.729	5.746	4.189
08.0	0.697	5.834	4.066
08.5	0.664	5.871	3.898
09.0	0.628	5.864	3.683
09.5	0.590	5.822	3.435
10.0	0.551	5.750	3.168
10.5	0.509	5.653	2.877
11.0	0.465	8.257	3.840
12.0	0.371	10.521	3.903
13.0	0.269	9.902	2.664
14.0	0.159	9.250	1.471
15.0	0.041	8.593	0.352
16.0	0.000	7.948	0.000
17.0	0.000	7.329	0.000
18.0	0.000	9.904	0.000
20.0	0.000	11.366	0.000
22.0	0.000	9.540	0.000
24.0	0.000	7.997	0.000
26.0	0.000	6.704	0.000
28.0	0.000	5.627	0.000
30.0	0.000	7.785	0.000
35.0	0.000	7.800	0.000
40.0	0.000	5.192	0.000
45.0	0.000	4.959	0.000
		$C_{\text{ideal(exp)}} =$	143.889

**Ilustración 22: Rendimiento de muestreador PM-10 ideal**

EPA también provee una tabla guía (10) que indica la distancia mínima de separación de obstáculos al muestreador PM-10. En el caso de esta tesis, se utilizó la escala Micro.

**Tabla 19: Ubicación del muestreador PM-10**

Escala	Altura desde el piso hasta el ingreso del muestreador (metros)	Distancia horizontal y vertical de las estructuras que lo soportan hacia el ingreso del muestreador (metros)	Distancia a los árboles desde el ingreso del muestreador (metros)	Distancia desde los caminos hacia el ingreso del muestreador (metros)
Micro:	2 – 7	> 2 (distancia horizontal)	> 10	2 – 10
Media,	2 – 7	> 2 (distancia horizontal)	> 10	Ver EPA
Vecindad,	2 – 15	> 2 (distancia horizontal)	> 10	Ver EPA
Urbano	2 – 15	> 2 (distancia horizontal)	> 10	Ver EPA
Regional	2 – 15	> 2 (distancia horizontal)	> 10	Ver EPA

#### 4.2.2.4. Posibles fuentes de error.

En el muestreo de partículas PM-10 con filtros se pueden presentar los siguientes errores:

##### Partículas volátiles

Partículas volátiles recogidas en los filtros a menudo se pierden durante el transporte y / o almacenamiento de los filtros antes de la etapa posterior a la toma de muestras de peso.

##### Retención por dióxido de azufre y ácido nítrico

Pueden ocurrir errores positivos en las mediciones de  $PM_{10}$  como resultado de la retención de gases en los filtros. Tales errores incluyen la retención de dióxido de azufre y ácido nítrico.

La retención de dióxido de azufre en los filtros, seguida por la oxidación de sulfato, se conoce como 'artefacto de sulfato de formación', un fenómeno que aumenta con el aumento de alcalinidad del filtro.

Por otro lado, el fenómeno llamado 'artefacto de nitrato de formación', se deriva principalmente de la retención de ácido nítrico, y se produce en muchos tipos de filtro, incluido los de fibra de vidrio, éster de celulosa, y muchos filtros de fibra de cuarzo. La pérdida de partículas de nitrato durante o después de la toma de muestras también puede ocurrir debido a la disociación o reacción química. Este fenómeno se ha observado en los filtros de teflón y los filtros de fibra de cuarzo.

La magnitud del error por 'artefacto de nitrato de formación' en los muestreos de PM-10 puede variar en función de la ubicación y la temperatura ambiental; sin embargo, para la mayoría de los lugares de muestreo, estos errores son esperados que sea pequeños.

Humedad.

Los efectos de la humedad ambiente en la muestra son inevitables. Mediante el equilibrio de humedad de entre pesajes de pre-muestreo y post-muestreo se minimiza los errores que puedan ocurrir.

Manipulación de filtros.

La cuidadosa manipulación de los filtros entre pesajes de pre-muestreo y post-muestreo es necesaria para evitar errores debidos a daños o pérdida de los filtros de recogida de partículas de los filtros. El uso de un filtro de cartucho o casete podrá reducir la magnitud de estos errores. Los filtros también deben cumplir con la especificación de integridad en la sección.

Variación de Caudal

En la toma de muestras, las variaciones del caudal pueden alterar el tamaño de las partículas capturadas. La magnitud de este error, dependerá de la sensibilidad de los conductos de ingreso de aire con las variaciones de caudal y la distribución de partículas en la atmósfera durante el período de muestreo. El uso de un dispositivo de control de flujo es necesario para reducir al mínimo este error.

Determinación de volumen de aire.

Errores en la determinación del volumen de aire puede ser el resultado de errores en el caudal y / o tiempo de muestreo para las mediciones. El dispositivo de control de flujo sirve para reducir al mínimo los errores en la determinación del tipo de flujo.

## 4.2.2.5. Cálculos

El cálculo del caudal durante el período de muestreo se debe corregir a condiciones de referencia estándar  $Q_{std}$  para poder ser comparado con el método EPA. Cuando la toma de muestras del indicador de flujo es calibrado en unidades reales volumétricas ( $Q$ ),  $Q_{std}$  se calcula como:

**Ecuación 12**

$$Q_{ETS} = Q_A \times (P_{avg} / T_{avg}) (T_{std} / P_{std})$$



Donde

$Q_{std}$  = caudal medio en condiciones de referencia EPA,  $\text{std m}^3 / \text{min}$ ;

$Q_a$  = caudal medio a condiciones ambientales,  $\text{m}^3 / \text{min}$ ;

$P_{avg}$  = presión barométrica promedio durante el período de muestreo o la presión barométrica promedio para el lugar de muestreo, en kPa (o mm Hg);

$T_{Avg}$  = temperatura ambiente promedio durante el período de muestreo estacional o la temperatura ambiente promedio para el lugar de muestreo, K;

$T_{std}$  = estándar de temperatura, que se define como 298 K;

$P_{std}$  = presión estándar, que se define como 101,3 kPa (o 760 mm Hg).

El cálculo del volumen total de aire se define como:

#### Ecuación 13

$$V = Q_{ETS} \times t$$

Donde

$V_{std}$  = total de aire muestreado en unidades de volumen estándar,  $\text{std m}^3$ ;

$T$  = tiempo de muestreo, min.

El cálculo de la concentración de  $PM_{10}$  se obtiene como:

#### Ecuación 14

$$PM_{10} = (W_{f,i} - W_{i-W}) \times 10^6 / V_{STD}$$

Donde

$PM_{10}$  = concentración en masa de  $PM_{10}$ ,  $\mu\text{g} / \text{m}^3 \text{std}$ ;

$W_{f,i}$  = Pesos finales - iniciales de recolección de filtro de partículas  $PM_{10}$ , g;

$10^6$  = conversión de  $\mu\text{g}$  a g

### 4.3. Medida y Análisis del Ruido

Existen dos maneras fundamentales de definir el sonido, una de ellas es netamente física, y la otra es psicofísica<sup>35</sup>. Dado que el estudio de ruido tiene fines de evaluación de la contaminación, se definirán los siguientes términos relevantes al estudio desde un punto de vista psicofísico.

El sonido es una sensación percibida por el oído causada por la variación de presión en el aire. Estas variaciones pueden ser creadas por vibración, corrientes o impacto. La velocidad del sonido es independiente de la tasa a las cuales la presión cambia y depende solamente de las propiedades del aire en el cual la onda de sonido viaja.

La frecuencia es el número de vibraciones o fluctuaciones de presión por segundo. Su unidad es el Hertzio.

Longitud de onda es la distancia que es recorrida por el sonido durante el periodo de una vibración completa.

El sonido puede consistir en un tono puro, o de una sola frecuencia, donde la presión sonora instantánea es una función sinusoidal simple del tiempo, o puede consistir en una compleja combinación de tonos. Las fuentes sonoras industriales suelen emitir sonido del segundo caso, y este fenómeno es normalmente descrito como ruido.

La presión sonora es una cantidad escalar que representa la fuerza ejercida por las partículas del aire sobre una superficie, que sólo depende del punto de observación (entorno) y de la fuente sonora. Se mide en  $N/m^2$ .

La intensidad sonora es un vector, cuya magnitud representa la cantidad de energía promediada en el tiempo que se ejerce sobre una superficie y cuya dirección es normal a dicha superficie. Se mide en  $W/m^2$ .

La potencia sonora es un vector, que representa la cantidad de energía por unidad de tiempo que radia una fuente sonora, hacia las 3 direcciones espaciales (x, y, z), independientemente del entorno. Se mide en Wat.

Entiéndase por energía de las ondas sonoras, a la aportación de energía parcialmente potencial debida al desplazamiento del medio, y parcialmente cinética proveniente del movimiento de las partículas del medio<sup>36</sup>.

#### 4.3.1. Niveles sonoros y decibeles

Las magnitudes de la presión sonora que afectan al oído varían entre  $2 \times 10^{-5}$  N/m<sup>2</sup>, región de percepción, y 200N/m<sup>2</sup>, región de daño instantáneo. Este rango del orden de  $10^6$  N/m<sup>2</sup>, no puede ser representado en una escala lineal porque no es práctico instrumentalmente, además de que la respuesta del oído no es directamente proporcional a la presión. Por definición, el decibel es una unidad adimensional que relaciona el logaritmo de la razón entre una cantidad medida y una cantidad de referencia. En la medida del ruido, se usa comúnmente para describir los niveles de: presión sonora, intensidad sonora y potencia sonora, por lo que es necesario especificar la cantidad de referencia para discernir que parámetro se está midiendo.

La cantidad de referencia para la presión sonora es de  $2 \times 10^{-5}$  N/m<sup>2</sup>, valor elegido por coincidir con el límite de percepción humana para una frecuencia de 1000hertz.

La cantidad de referencia para la intensidad sonora es de  $10^{-12}$  W/m<sup>2</sup>, que se halla relacionando la cantidad de referencia para la presión sonora entre la impedancia del aire en condiciones normales 410 rayls.

La cantidad de referencia para la potencia sonora es de  $10^{-12}$ W.

En la práctica, la medida de presión sonora usa una escala logarítmica.

#### Ecuación 15

$$L_p \text{ (NPS)} = 20 \log_{10} (P_1/P_0) \text{ dB re } 2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$$

Donde NPS ( $L_p$ ) significa nivel de presión sonora.

De la misma manera, se define el nivel de intensidad sonora NIS ( $L_I$ ) y nivel de potencia sonora NWS ( $L_W$ ) de la siguiente manera:

**Ecuación 16**

$$L_I (\text{NIS}) = 10 \log_{10} (I_1 / I_0) \text{ dB re } 10^{-12} \text{ W/m}^2$$

**Ecuación 17**

$$L_W (\text{NWS}) = 10 \log_{10} (W_1 / W_0) \text{ dB re } 10^{-12} \text{ W}$$

**Tabla 20: Parámetros de medición de ruido**

Parámetro	Depende de	Cantidad medida	Cantidad de referencia	Nivel sonoro (dB)
<b>Presión Sonora</b>	•Entorno •Fuente sonora	$P_1$ (N/m <sup>2</sup> )	$P_0 = 2 \times 10^{-5}$ N/m <sup>2</sup>	$L_P = 20 \log_{10} (P_1 / P_0)$
<b>Intensidad Sonora</b>	•Entorno •Fuente sonora	$I_1$ (W/m <sup>2</sup> )	$I_0 = 10^{-12}$ W/m <sup>2</sup>	$L_I = 10 \log_{10} (I_1 / I_0)$
<b>Potencia sonora</b>	•Fuente sonora	$W_1$ (W)	$W_1 = 10^{-12}$ W	$L_W = 10 \log_{10} (W_1 / W_0)$

#### 4.3.2. Relaciones entre medidas de niveles sonoros

El módulo de la intensidad sonora y la presión acústica se relacionan sólo en campo libre, es decir, en ausencia total de reflexiones. En estas condiciones, en un punto particular y en la dirección de propagación de la onda, se cumple:

**Ecuación 18**

$$I = P^2 / \rho c$$

Donde  $\rho$  es la densidad del aire y  $c$  la velocidad de propagación del sonido.

El producto  $p \cdot c$  recibe el nombre de Impedancia Característica, y su valor para el aire, a una temperatura  $T = 20^\circ\text{C}$  y presión atmosférica  $P_s = 0.751$  mm de Hg es de  $z = p \cdot c = 406$  rayls (unidad MKS para impedancia acústica).

Si en condiciones ideales, en la cual la fuente sonora es punto en el espacio que vibra o pulsa periódicamente y radia ondas simétricamente y en todas las direcciones, la fuente se llamará radiador isotrópico. Se cumple para la propagación del sonido emitido por radiador isotrópico, que la presión sonora disminuirá tanto como viaja a través del aire desde la fuente hacia alguna distancia radial. En estas condiciones, de campo libre de reflexiones, la presión sonora será igual en cualquier punto equidistante de la fuente, esto es, cualquier punto de la superficie de la esfera.

Para una fuente sonora puntual, en condiciones de campo libre sin reflexiones, la relación entre potencia e intensidad es:

**Ecuación 19**

$$I = \frac{W}{S} = \frac{W}{4\pi r^2}$$

Y finalmente podríamos expresar:

**Ecuación 20**

$$P^2 = \frac{pcW}{4\pi r^2}$$

Lo que relaciona la presión sonora en campo libre y la potencia sonora radiada,  $W$

#### 4.3.3. Análisis Espectral

El ruido, como se ha expresado anteriormente, es una mezcla compleja de sonidos, con diferentes frecuencias o longitudes de onda.

Analizar un ruido es descomponer esta mezcla en cada una de las frecuencias y estudiarlas en función de su nivel de presión sonora.

Dado que el ruido puede estar compuesto por una infinidad de frecuencias, se opta por representar bandas de frecuencias. La separación de la banda es regular. En estudios de ruido suele agruparse el rango de frecuencias audibles en bandas de octavas, y tercios de octavas. Se denomina "octava", al intervalo dos sonidos puros, cuyas frecuencias estén entre sí, en relación de 2 a 1.

Cada banda de frecuencia está representada por su la frecuencia que corresponde al promedio geométrico entre sus límites.

**Tabla 21: Centro de banda de octava y tercio de octava**

Octava									
31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
Tercio Octava									
12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100
125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000
1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
12500	16000	20000							

La representación gráfica del análisis de ruido por bandas se llama espectro acústico y se hace sobre un tramo semi-logarítmico. En abscisas se coloca la escala logarítmica de las frecuencias, en ordenadas se coloca una escala lineal de los niveles sonoros.<sup>37</sup>

A continuación un ejemplo donde se muestra el análisis espectral en 1/1 octavas y 1/3 octavas del mismo ruido.

Ilustración 23: Espectro acústico en bandas de octava

### Espectro acústico en bandas de octava

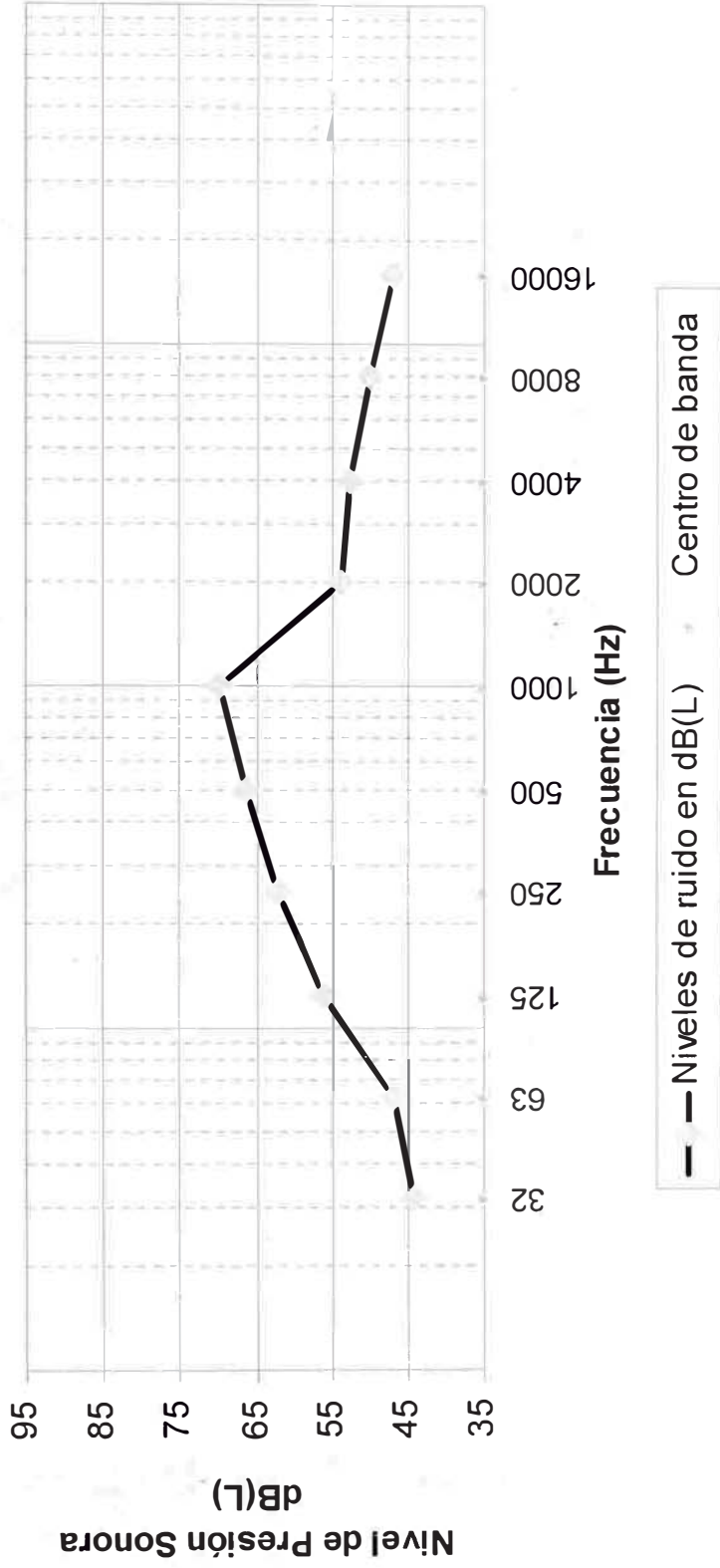
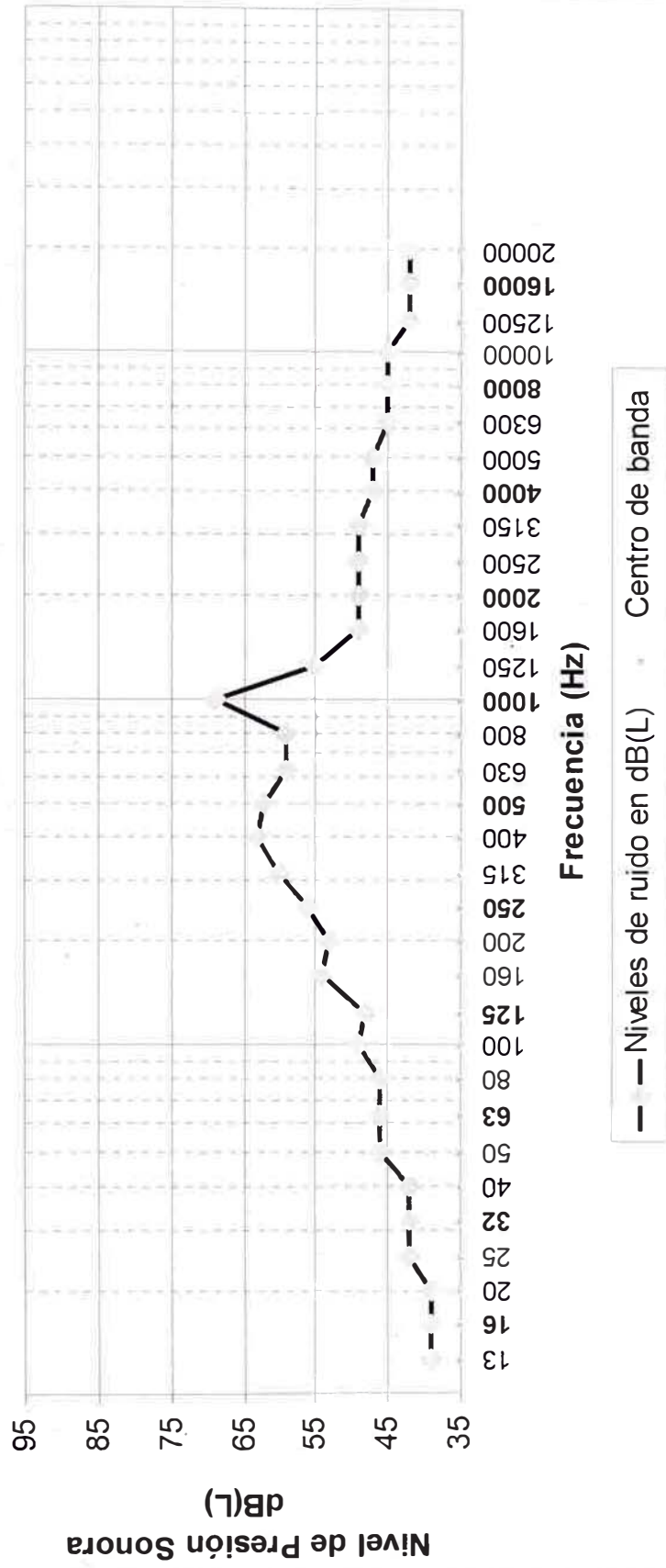


Ilustración 24: Espectro acústico en banda de tercios de octava

### Espectro acústico en banda de tercios de octava





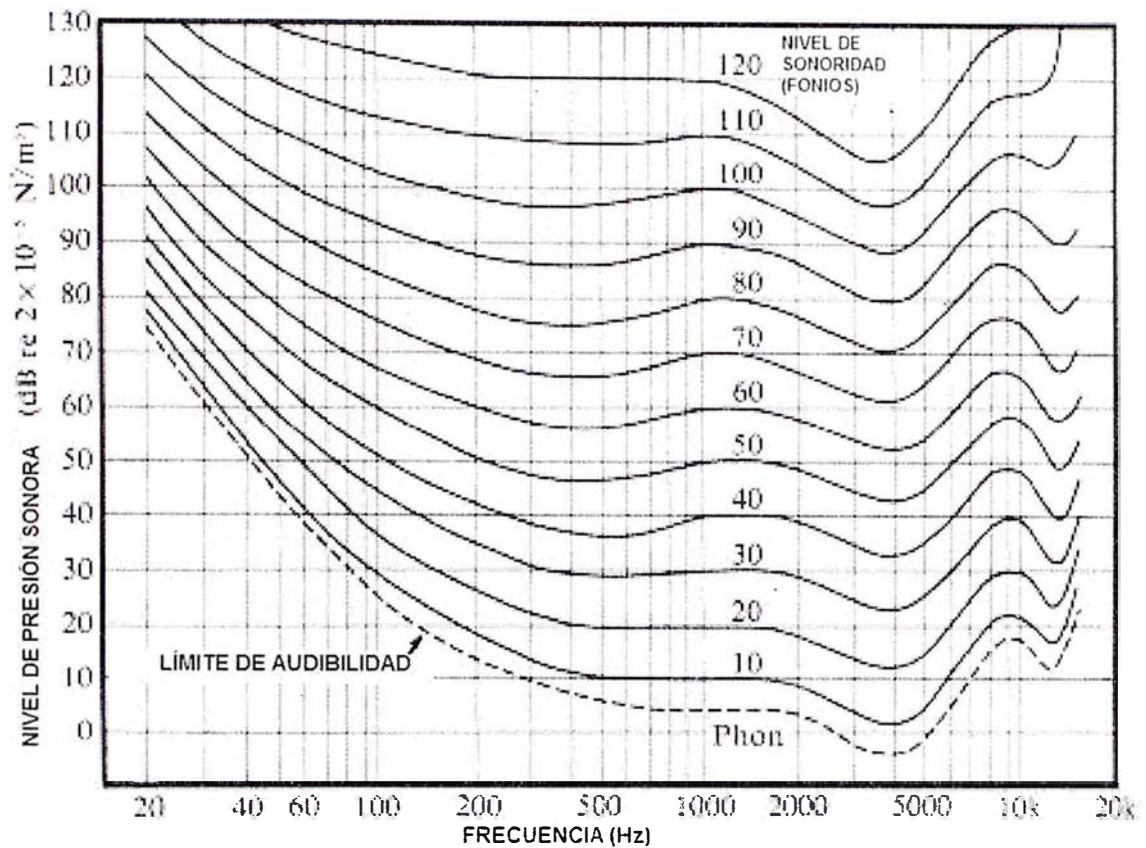
#### 4.3.4. Sonómetros y escalas de ponderación

El sonómetro es un instrumento que se usa para medir los valores cuadráticos medios de los niveles de presión sonora instantáneos. El sonómetro consiste de un micrófono, un amplificador y un medidor. El micrófono convierte las ondas de presión sonora en fluctuaciones de voltaje que son amplificadas y operados por el medidor.

El sonómetro, a diferencia del oído de los animales, tiene una lectura lineal de los niveles de presión sonora, por lo que los medidores llevan incorporado escalas, donde la respuesta varía con la frecuencia. Estas escalas tienen nombre de curva de ponderación, que bonifican o penalizan la respuesta del sonómetro para ciertas bandas, de tal manera que se acerque lo más posible a la respuesta del oído.

Las curvas de ponderación fueron diseñadas como las inversas más aproximadas a las curvas isofónicas de Fletcher y Munson, que indican la sensibilidad del oído para ciertas frecuencias. Las curvas isofónicas de Fletcher y Munson fueron trazadas a partir de la respuesta similar a ciertas frecuencias con su respectivo nivel de presión sonora.

Ilustración 25: Curvas experimentales de igual sonoridad



Adaptado al español de 'Curvas de igual sonoridad determinado experimentalmente por Robinson & Dadson in 1956, luego del trabajo original de Fletcher & Munson (Fletcher, H. and Munson, W.A. (1933) J.Acoust.Soc.Am. 6:59; Robinson, D.W. and Dadson, R.S. (1956) Br. J. Appl. Phys. 7:166.

Originalmente, se diseñaron 3 curvas de ponderación: Ponderación A inversa a la curva de 40 fonios, ponderación B inversa a la curva de 70 fonios, y C inversa a la de 100 fonios.

Sin embargo, se ha demostrado que las lecturas en la ponderación A, corresponde más cercanamente a la respuesta del oído. Para muchos casos prácticos, como el de medición de los niveles de ruido en estudios ambientales,

son necesarias las lecturas directas simples, por lo cual esta es la mejor de las ponderaciones a usar.

Ilustración 26: Curva de ponderación A

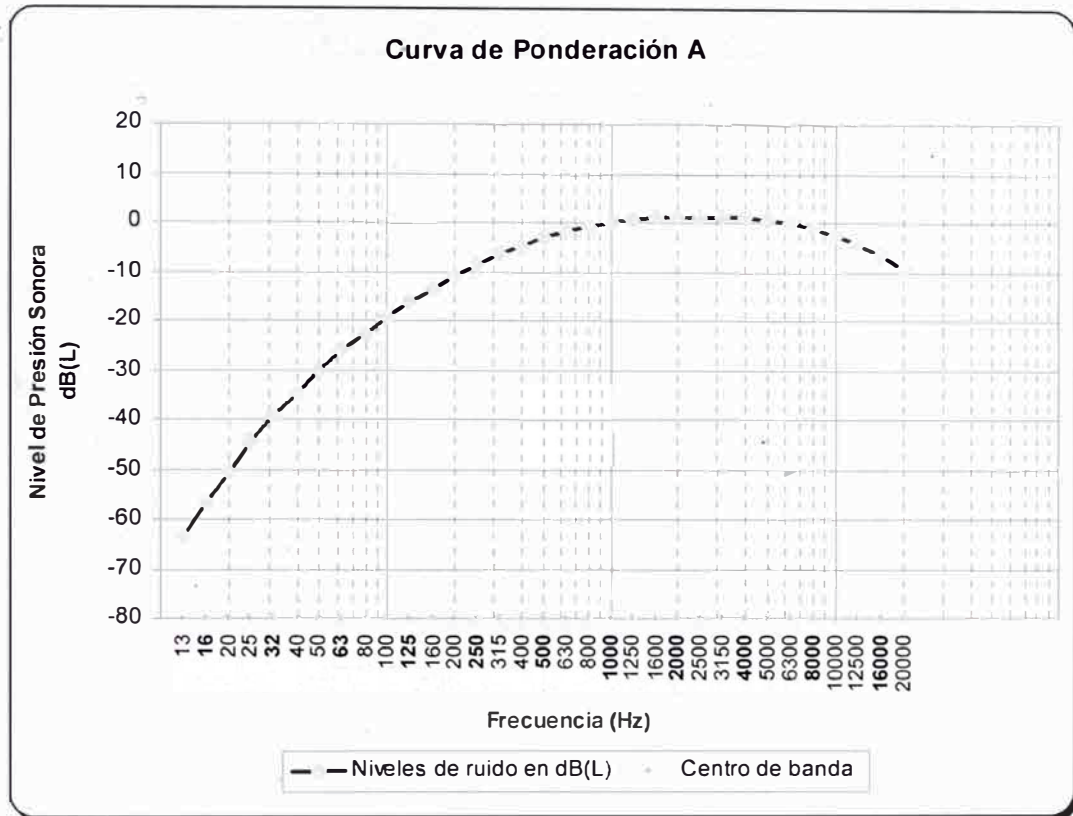


Tabla 22: Valores de ponderación A por centro de tercio de octava

Frecuencia (Hz)	Curva A (dB)
12.5	-63.4
16	-56.7
20	-50.5
25	-44.7
31.5	-39.4
40	-34.6
50	-30.2
63	-26.2
80	-22.5
100	-19.1
125	-16.1
160	-13.4
200	-10.9
250	-8.6
315	-6.6
400	-4.8
500	-3.2
630	-1.9
800	-0.8
1000	0.0
1250	0.6
1600	1.0
2000	1.2
2500	1.3
3150	1.2
4000	1.0
5000	0.5
6300	-0.1
8000	-1.1
10000	-2.5
12500	-4.3
16000	-6.6
20000	-9.3

#### 4.3.5. Propagación y atenuación del sonido

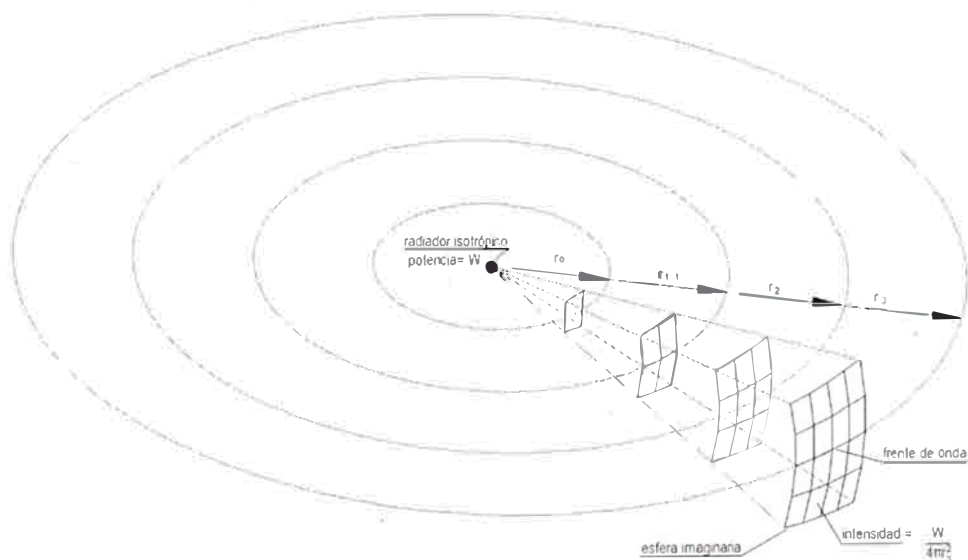
##### 4.3.5.1. Cálculo de la potencia sonora

El método recomendado para la evaluación de ruido ambiental de una fuente pequeña, y que será incluido en el modelo de propagación de sonido según ISO 9613, es el que está especificado en la norma ISO 3744:1994 "Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure. Engineering method in an essentially free field over reflecting plane" La norma ISO 8297 sería aplicable para plantas industriales grandes con muchas fuentes de ruido.

##### 4.3.5.2. Atenuación por divergencia geométrica

Se refiere a la divergencia de la energía sonora como resultado de la expansión del frente de la onda. Como se mostró en la relación anterior, entre la presión sonora y la potencia sonora están relacionadas en función de la distancia, luego se puede obtener, diferentes niveles de presión sonora para diferentes distancias radiales de superficies esféricas imaginarias alrededor de un radiador isotrópico.

**Ilustración 27: Ley de inversa del cuadrado**



$$L_{P1} = 20\log_{10} (P_1/P_0) = 10\log_{10} (P_1/P_0)^2 = 10\log_{10} (r_0^2W/ r_1^2W) = 10\log_{10} (r_0^2/ r_1^2)$$

$$L_{P2} = 20\log_{10} (P_2/P_0) = 10\log_{10} (P_2/P_0)^2 = 10\log_{10} (r_0^2W/ r_2^2W) = 10\log_{10} (r_0^2/ r_2^2)$$

$$L_{P3} = 20\log_{10} (P_3/P_0) = 10\log_{10} (P_3/P_0)^2 = 10\log_{10} (r_0^2W/ r_3^2W) = 10\log_{10} (r_0^2/ r_3^2)$$

...

$$L_{Pn} = 20\log_{10} (P_n/P_0) = 10\log_{10} (P_n/P_0)^2 = 10\log_{10} (r_0^2W/ r_n^2W) = 10\log_{10} (r_0^2/ r_n^2)$$

De lo cual podemos obtener las siguientes fórmulas:

#### Ecuación 21

$$L_P = L_W - 10\log_{10} r^2;$$

Nos indica la divergencia del ruido desde la fuente sonora hasta el punto de observación y,

#### Ecuación 22

$$L_{P2} = L_{P1} - 20\log_{10} r_2/r_1$$

Nos indica la divergencia del ruido desde un punto de observación a otro punto de observación, ambos en la misma dirección radial.

El término de atenuación por divergencia geométrica según se define en la ISO 9613-2 es:

#### Ecuación 23

$$A_{div} = [20\log(d / d_0) + 11] \text{dB}$$

Nos indica la atenuación por divergencia del ruido desde un punto de emisión de ruido, con la conversión estándar de potencia sonora a presión sonora ( $10\log_{10}4\pi = 10.99$ )

#### 4.3.5.3. Atenuación por absorción atmosférica

La energía sonora se absorbe como una onda sonora propagada en el aire. Estas pérdidas se deben a un proceso de relajación y depende de la cantidad de vapor de agua presente. La energía absorbida por banda está aproximadamente relacionada al cuadrado de la frecuencia.<sup>38</sup>

##### Ecuación 24

$$\text{Alfa} = kf^2 + \text{alfa}^2 \text{ dB/m}$$

Donde  $k = 14.24 \times 10^{-11}$

F = frecuencia en Hz

Alfa 2 = Depende de la humedad

La atenuación debida a la absorción atmosférica  $A_{atm}$ , en decibeles, durante la propagación a la distancia d, en metros está dada por la ecuación

##### Ecuación 25

$$A_{atm} = \alpha d / 1000 \text{ dB} \dots(n)$$

Donde alfa es la el coeficiente de atenuación en decibeles por kilometro, para cada banda de octava en la banda nominal.

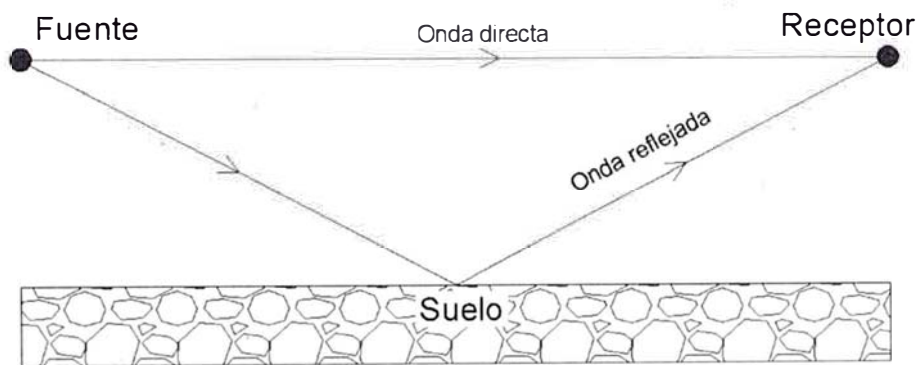
El estándar ISO 9613-2 admite, para mediciones de banda ancha en ponderación A, utilizar la atenuación de 500hz para estimar la atenuación resultante.

#### 4.3.5.4. Atenuación por el terreno

Si un sonido se propaga sobre el terreno, existirá un efecto de atenuación debido a la pérdida en el sonido reflejado. Estas pérdidas dependerán de la superficie. Superficies lisas y duras producen poca absorción, en cambio, superficies porosas o blandas pueden reducir hasta 10 dB por cada 100metros a 2000hz.

La reflexión del suelo puede resultar en un mecanismo adicional por el cual los efectos del suelo son reducidos. Cuando la fuente y el receptor están cerca al suelo, la onda reflejada puede interferir destructivamente con la onda directa. Este efecto, llamado, el efecto del suelo puede ser notado a distancias de varios metros o más, en rangos de frecuencia de 200 – 600hz.

**Ilustración 28: Esquema de influencia del suelo**



**Ecuación 26**

$$A_{gr} = 4.8 - (2h_m / d)[17 + (300 / d)] \geq 0 \text{ dB}^{39} \dots (1)$$

4.3.5.5. Corrección por directividad

Las ondas producidas por la mayoría de las fuentes tienen notorios efectos direccionales, conocidos por directividad de la fuente. Esto se debe a los siguientes factores:



- tamaño y forma de la fuente
- impedancia de radiación
- modo de oscilación de la superficie del radiador
- reacción del medio fluido sobre la superficie del radiador
- la presencia de cualquier superficie rígida grande conocida como barrera infinita (incremento por reflexión)

### Directividad por fuente

Se refiere a las características direccionales de la fuente sonora. La estimación de la directividad por fuente se puede realizar por la estimación de  $D$ , factor de directividad por fuente, o por un cálculo aproximado del índice de directividad  $d_r$ .

El factor de directividad  $D$ , se describe por:

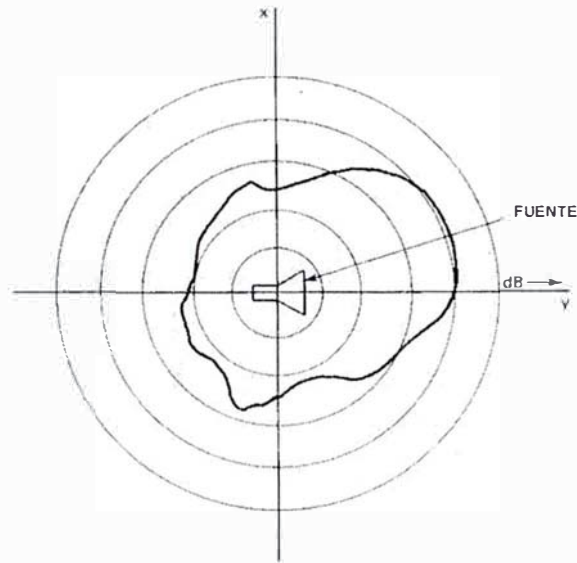
#### **Ecuación 27**

$$D = \frac{2J_1(ka \sin \theta)}{ka \sin \theta}$$

Donde  $J_1$  es la función de Bessel de primera clase de orden uno,  $k$  es el número de onda,  $a$  es el radio de la fuente, y  $\theta$  es el ángulo direccional a partir de la dirección axial de la fuente.<sup>40</sup>

La relación de directividad  $D_r$ , es la relación de la intensidad en cualquier punto sobre el eje de la fuente sonora a la intensidad que produciría en el mismo punto una fuente simple de igual potencia

Ilustración 29: Directividad por fuente (D)



El índice de directividad o ganancia  $d_r = 10 \log D_r$  dB es simplemente la expresión en decibelios de la relación de directividad. De una manera práctica, es el nivel de la presión sonora para un punto sobre el nivel RMS promediado para todas las direcciones, siempre y cuando la longitud de onda  $\lambda$  es pequeña con respecto a las dimensiones de la fuente.

**Ecuación 28**

$$d_r = 10 \log \left( \frac{I_r}{I_{avg}} \right) = 10 \log \left( \frac{W_r / S_r}{W_{avg} / S_{avg}} \right) = 20 \log \left( \frac{P_r}{P_{avg}} \right) = Lp_r - Lp_{avg}$$

Para un ángulo  $\theta$ ,

**Ecuación 29**

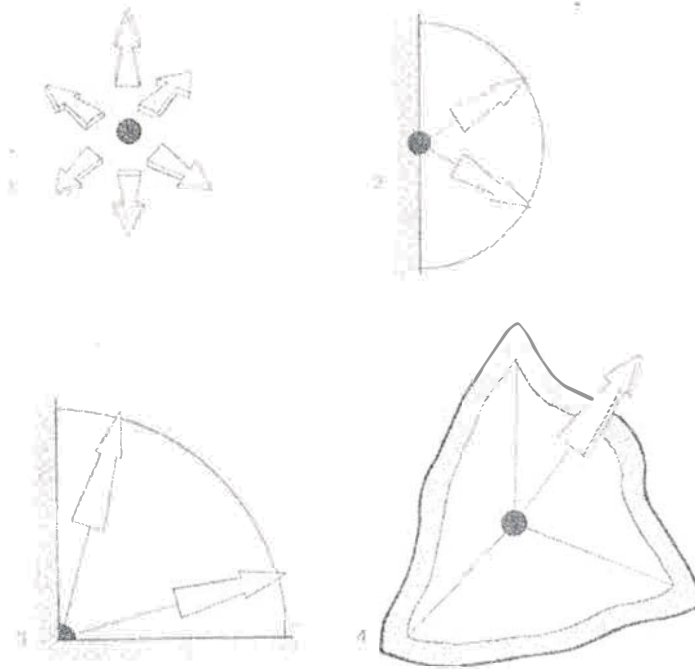
$$d_{r, \theta} = Lp_{r, \theta} - Lp_{r, avg}$$

### Directividad por el medio

Factor de Directividad por medio (Q). Es una medida del grado el cual el sonido se concentra más en cierta dirección que uniformemente en un patrón esférico.

Las patrones de radiación típicas están relacionadas a las porciones de radiación esférica. Si existe una radiación hemisférica, donde la fuente sonora a nivel de piso en ambientes abiertos, la concentración de la energía sonora a una distancia  $r$  será el doble de grande que una radiación de campo libre, porque el área radiada ha sido reducida por un factor de dos.

**Ilustración 30: Patrones de directividad por medio (Q)**



Donde:

1. Factor de directividad  $Q = 1$ , sin reflejo, sin ganancia.
2. Factor de directividad  $Q = 2$ , densidad de energía doblada con respecto a 1 por reflejo en pared, ganancia +3dB

3. Factor de directividad  $Q = 4$ , densidad de energía doblada con respecto a 2 por reflejo en dos paredes perpendiculares, ganancia +6dB
4. Factor de directividad  $Q = 8$ , densidad de energía doblada con respecto a 3 por reflejo en esquina, ganancia +9dB

Esta directividad de la fuente de sonido esta solamente relacionada a la ubicación espacial en el campo.

Cuando se calcula la atenuación del suelo, se añade la corrección por directividad por medio  $Q=2$ , incluido en el término  $D_{\Omega}$ , en decibeles, para contar con el incremento aparente en el nivel de potencia sonora de la fuente debida a las reflexiones del piso cerca de la fuente

**Ecuación 30**

$$D_{\Omega} = 10 \log \left\{ 1 + \frac{[d_p^2 + (h_s - h_r)^2]}{[d_p^2 + (h_s + h_r)^2]} \right\} \text{dB}$$

Donde:

$d_p$  es la distancia de la fuente al punto de observación, en m

$h_s$  es la altura de la fuente, en m

$h_r$  es la altura del punto de observación, en m

4.3.6. Estudio de ruido ambiental bajo norma ISO 1996 y aplicación del modelo de la norma ISO 9613-2

La norma ISO 1996 consiste en tres partes, bajo el nombre de "Descripción, medida y evaluación del ruido ambiental":<sup>41</sup>

La primera parte de la norma, ISO 1996-1, define las magnitudes básicas a registrar, y los procedimientos a seguir en un estudio de ruido ambiental

- Nivel de presión sonora ponderado "A",  $L_{pA}$ , en decibeles
- Nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado "A",  $L_{Aeq,T}$  en decibeles

- Nivel percentil,  $L_{AN,T}$
- Intervalo temporal de medición
- Registro de la técnica de medición
- Registro de las condiciones prevalecientes durante las mediciones
- Registro de datos cualitativos

La segunda parte de la norma, ISO 1996-2, describe los métodos a utilizar para medir y describir el ruido ambiental en general

- Descripción del modelo de propagación empleado
- Ubicación y aspectos que caracterizan el ruido emitido por la fuente
- Atenuación sonora y reflexiones
- Absorción sonora del aire
- Condiciones de propagación
- Condiciones meteorológicas adoptadas
- Ubicación de los receptores
- Posición y nivel de potencia de la fuente considerada

La tercera parte de la norma, ISO 1996-3, describe los métodos de obtención de datos, que permitan verificar que situaciones específicas de ruido cumplen con los límites de ruido especificados.

La norma ISO 9613-2, especifica un método de ingeniería para calcular la atenuación de sonido externa, para predecir los niveles de ruido ambiental a distancia de una variedad de fuentes. El método predice los niveles de presión sonora continuo equivalente ponderado "A" descrito en las tres partes de la norma ISO 1996, bajo las condiciones meteorológicas favorable a la propagación de las fuentes de emisión conocida.

Una de las notas del método indica que si solo interesan los niveles de potencia sonora ponderado "A" de las fuentes son conocidas, los términos de atenuación de 500hz puede ser usadas para estimar la atenuación resultante.

La ecuación básica para calcular el nivel de presión sonora en la ubicación del receptor es la siguiente:

### Ecuación 31

$$L_{Aeq,T} = L_w + D_c - A$$

Donde:

- $L_w$  es el nivel de potencia sonora de la fuente, calculado bajo la ISO 3744
- $D_c$  es la corrección por la suma de la directividad de la fuente y directividad por el medio.
- $A$  es la suma de la atenuación por divergencia sonora, atenuación por el suelo, y atenuación por absorción atmosférica

Para estudios bajo los siguientes parámetros:

- Radio de estudio menor a 100 metros a partir de la fuente,
- Medio sin barreras y considerando solo la reflexión del suelo, con porosidad media.
- Altura de emisor 1.70m (altura de fuente)
- Altura de receptor 1.50m (altura del sonómetro)
- La potencia sonora calculada a 2 metros de distancia en una superficie paralela a la fuente.

La ecuación se puede desarrollar de la siguiente manera:

### Ecuación 32

$$Lp_{Aeq,T,r,\theta} = Lw + (Lp_{2,\theta} - Lp_{2,avg}) + 10 \log \left\{ 1 + \frac{r^2 + (0.2)^2}{r^2 + (0.2)^2} \right\} \\ + [20 \log(r) + 11] + 4.8 - (2 \times 1.60 / r) [17 + (300 / r)]^* + \alpha r / 1000^{**}$$

Donde

- $r$ , es la distancia axial desde el centro acústico de la fuente sonora al punto de estudio,
- $\theta$ , es el ángulo barrido desde el centro acústico en dirección al punto de estudio
- $\alpha$ , es el coeficiente de absorción atmosférica

\* Siempre y cuando este término sea mayor o igual a 0, considerable a partir de 30 metros

\*\* Prácticamente nulo cuando la distancia es menor a 30 metros

## 5. Evaluación de la contaminación por ozono, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre

La evaluación se llevó a cabo instalando 5 juegos de 3 muestreadores para cada uno de estos contaminantes, ozono, dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre. Cada juego fue colocado en un soporte protegido contra el viento, lluvia y hielo, a una altura mínima, ubicados en los puntos seleccionados según los planos E-1.5, E-2.5 y E-3.5.

### 5.1. Instrumentación y materiales

- 15 Tubos de difusión pasiva para  $\text{SO}_2$  (3 tubos por punto), absorbente TEA, manufacturado por Passam Ag, Suiza. Ver anexo N° 7
- 15 Tubos de difusión pasiva para  $\text{NO}_2$ , (3 tubos por punto), absorbente DPE, manufacturado por Passam Ag, Suiza. Ver anexo N° 7
- 15 Tubos de difusión pasiva para  $\text{O}_3$ , (3 tubos por punto), absorbente DPE, manufacturado por Passam Ag, Suiza. Ver anexo N° 7

**Ilustración 31: Tubos de difusión pasiva utilizados**

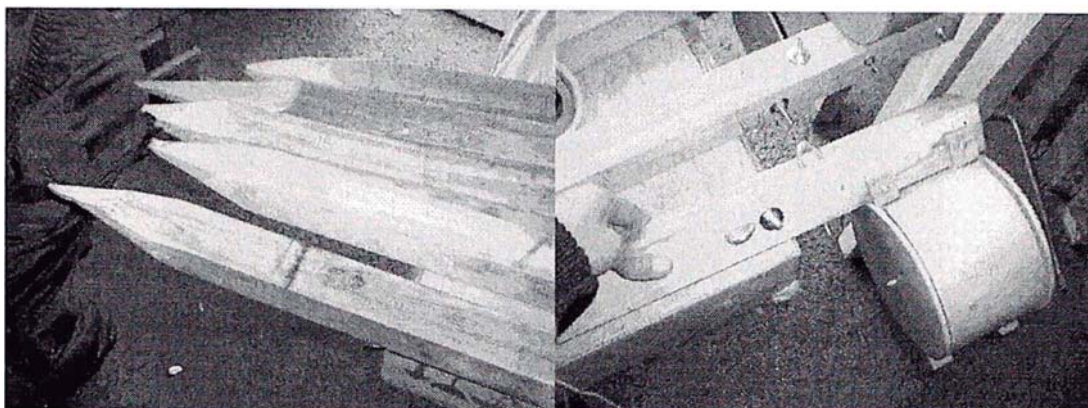


Izquierda:  $\text{SO}_2$ , Centro:  $\text{NO}_2$ , Derecha:  $\text{O}_3$



- d) Pico y pala, para cavar hoyos en los puntos seleccionados.
- e) Listones de madera de 1,80m

**Ilustración 32: Canastillas de PVC ensamblado a listón de madera**



- f) Cabos de 2 metros de largo y estacas de metal
- g) Canastillas de PVC con soportes para los tubos de difusión pasiva

## 5.2. Actividades

- a) Se seleccionaron 5 puntos de monitoreo en función de los puntos de generación y los vientos predominantes, según se indica en la Figura 3.
- b) El día 17 se instalaron 5 listones de madera que cada uno soportaban una canastilla de PVC a 1,5m de altura, que contuvo: 1 juego de 3 tubos de difusión pasiva para  $O_3$ , 1 juego de 3 tubos de difusión pasiva para  $SO_2$ , y 1 juego de 3 tubos de difusión pasiva para  $O_3$ . Según se muestra en las fotos 6 y 7.
- c) Se retiraron todos los tubos de difusión pasiva para  $O_3$  el día 24 de enero y todos los tubos de difusión pasiva para  $SO_2$  y  $NO_2$  el día 31 de enero.

**Ilustración 33: Cava de hoyos para la instalación de puntos de muestreo**



**Ilustración 34: Instalación de muestreadores pasivos en punto de muestreo**



Ilustración 35: Punto de muestreo instalado cerca a módulo de fuerza "Mod. Fuerza"



Ilustración 36: Punto de muestreo ubicado a 10 metros de ECAMP "Frente Base"



#### 6. Evaluación de Material Particulado con diámetro menor a 10 micrómetros en la Estación Científica Antártica Machu Picchu

La evaluación se llevó a cabo instalando una torre de 2.5 metros de alto, con un muestreador de bajo volumen, MiniPartisol Modelo 2100 del fabricante Ruppert & Patashnick, serie B202490607, con cabezal separador inercial de cascada PM-10. Este conjunto fue instalado en 5 posiciones que alternaba diariamente si las condiciones operativas lo permitían.

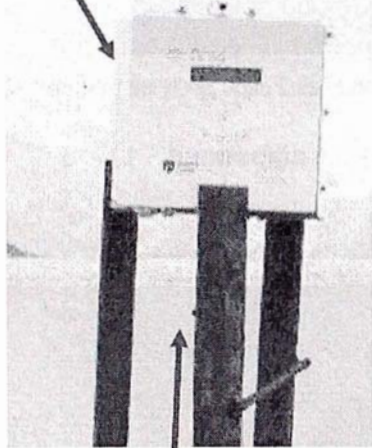
### 6.1. Instrumentación y materiales

a) Cabezal PM-10 (impactador de cascada), ver ilustración 39.

b) Mini Partisol Modelo 2100, fabricante Ruppert & Patashnick, muestreador de bajo volumen.

Protección contra el frío

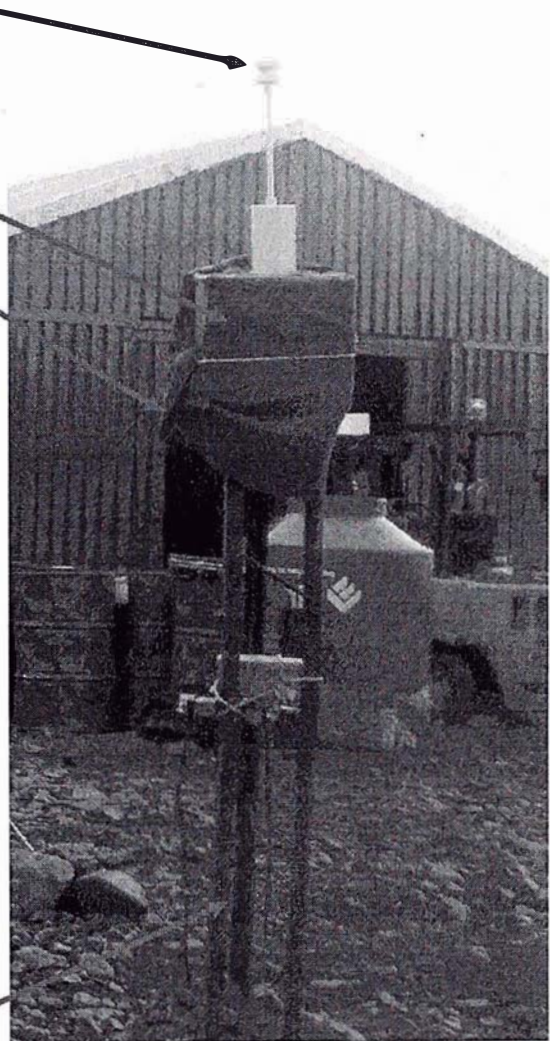
Ilustración 38: PM-10



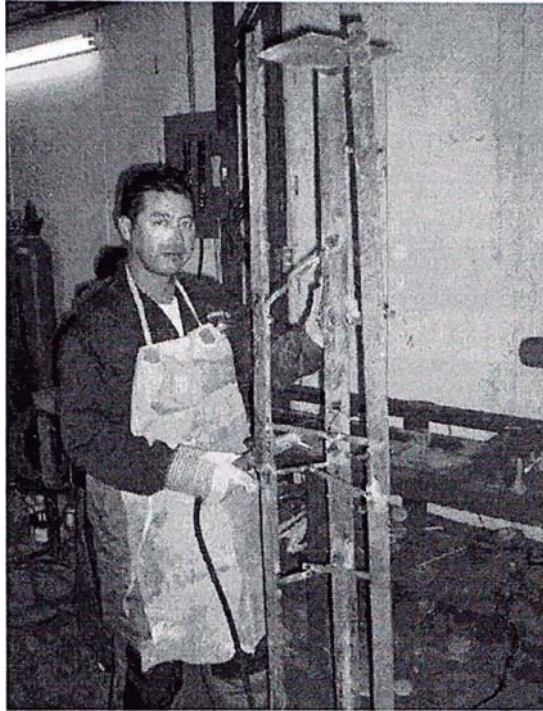
c) Torre metálica de 2.5m de alto

d) Pico y pala

Ilustración 37: Torre de muestreo PM-10



**Ilustración 39: Construcción de la torre soporte del PM-10**



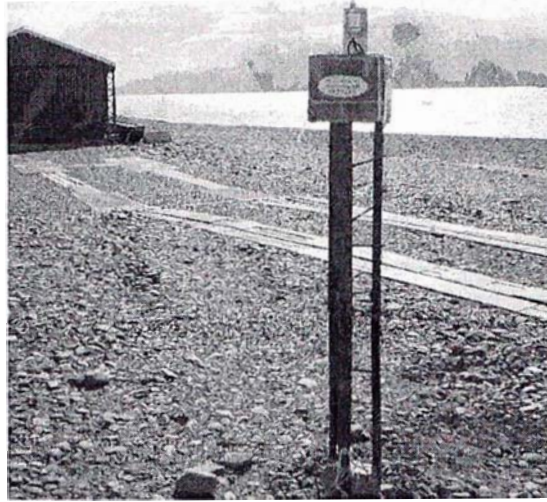
Habilidoso y servicial, José Luis Ponce, Técnico de la Marina de Guerra del Perú

**Ilustración 40: Instalación del PM-10**



El autor, instalando el equipo muestreador PM-10

**Ilustración 41: PM-10 en Punto 'Frente de Base'**

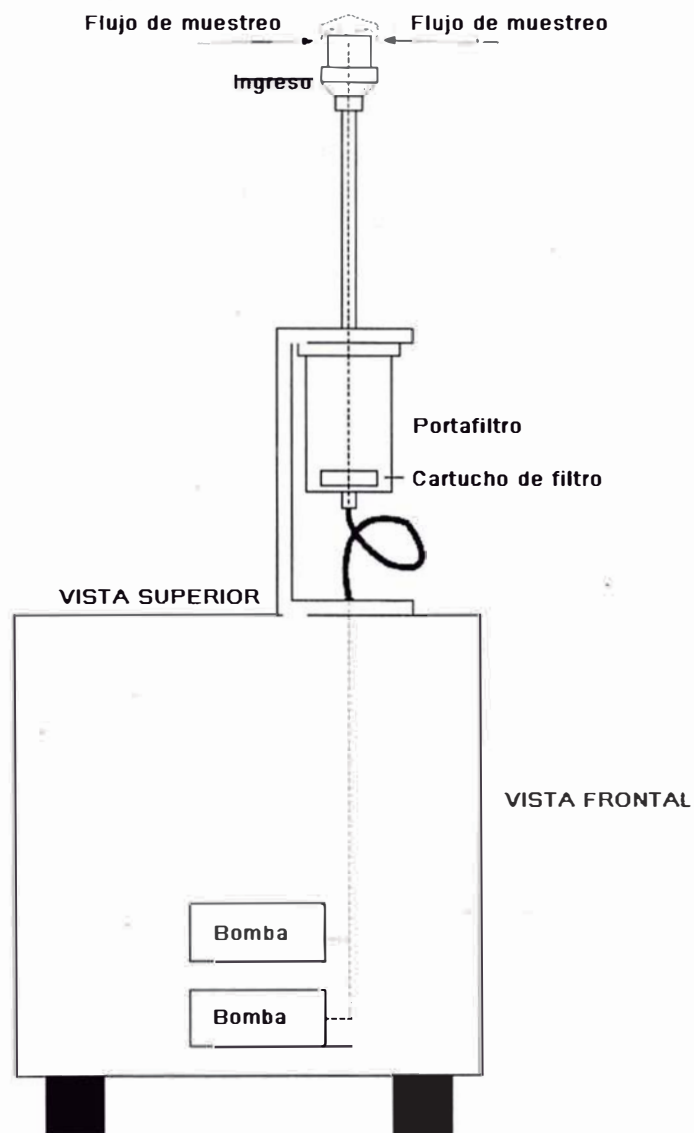


**Ilustración 42: PM-10 en Punto 'Mod. Fuerza'**





Ilustración 43: Esquema de funcionamiento MiniPartisol PM-10

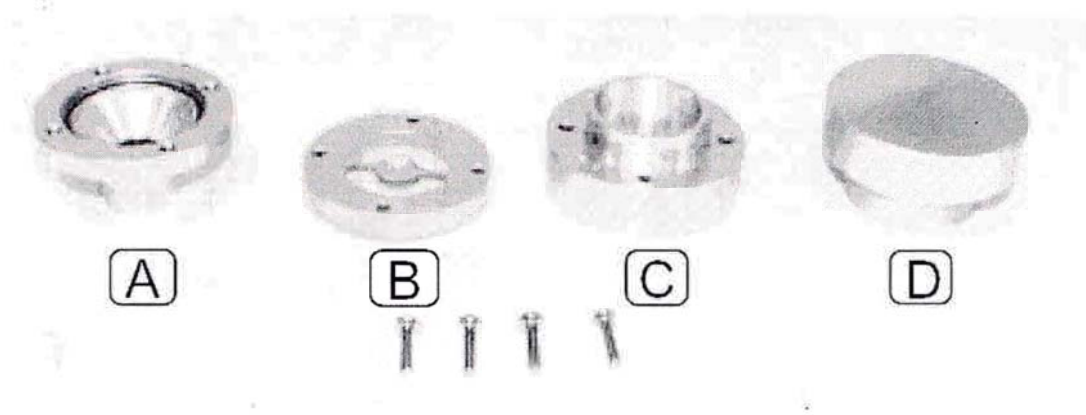


Adaptación del Manual de Operaciones "Operating Manual Mini-Partisol Model 2100 Air Sampler R&P Part Number 42-010026" Julio 2004.

### 6.1.1. Medio Separador: Cabezal de PM-10

Este modelo cuenta con un cabezal separador de PM-10, cuyo principio es el de impactación por cascada.

Ilustración 44: Partes del Cabezal PM-10



Partes del Impactador del Mini-Partisol A) Base, B) Plato del Impactador, C) Jet de Aceleración, D) Protección contra lluvia.

Ilustración 45: Ensamblaje Partes del Cabezal PM-10

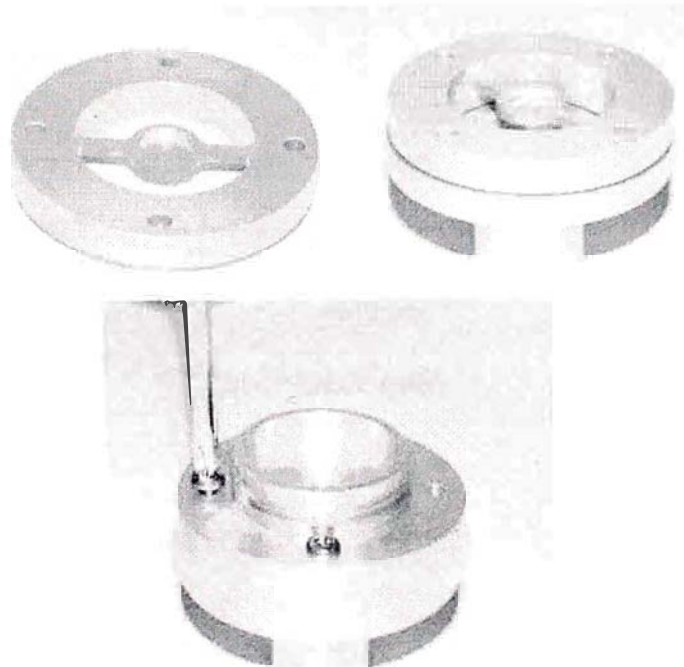
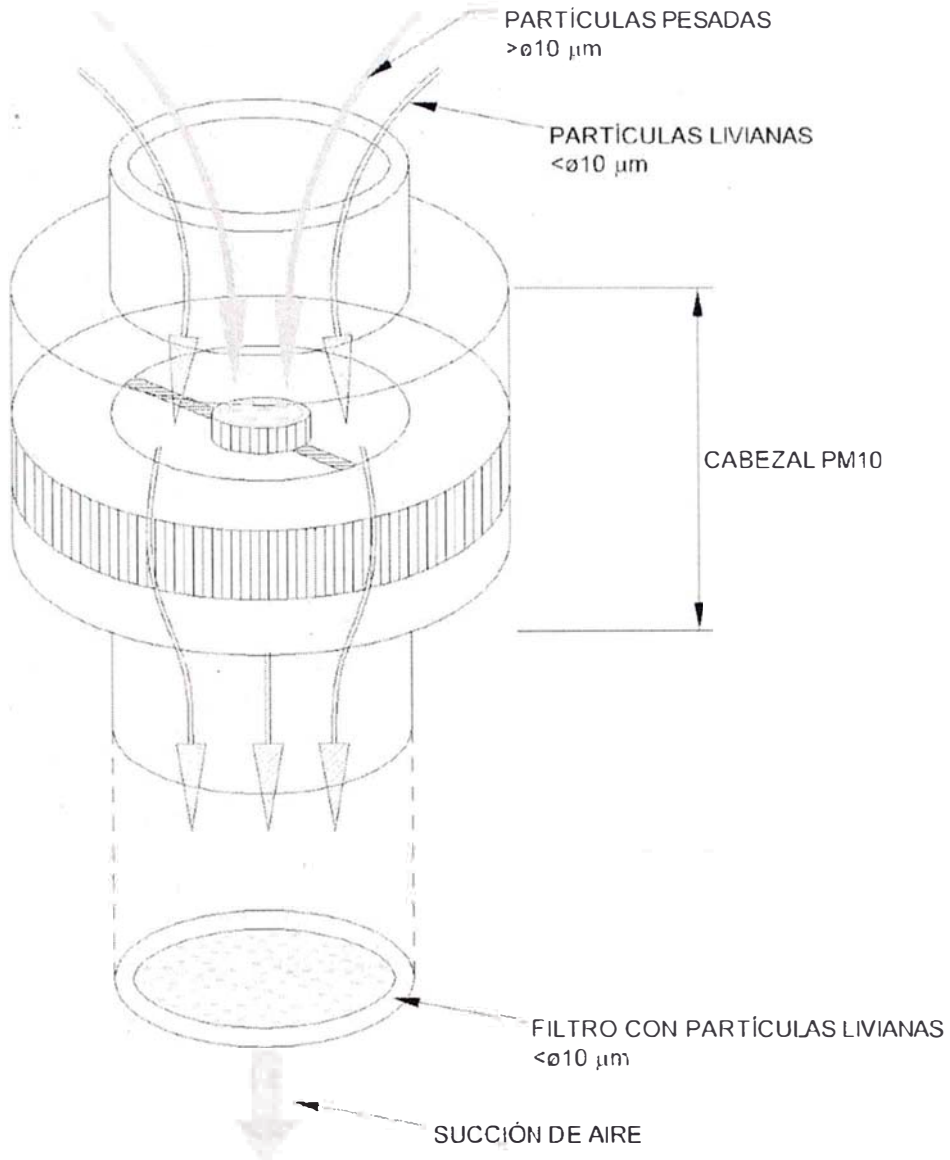


Ilustración 46: Esquema de funcionamiento del cabezal PM-10 MiniPartisol

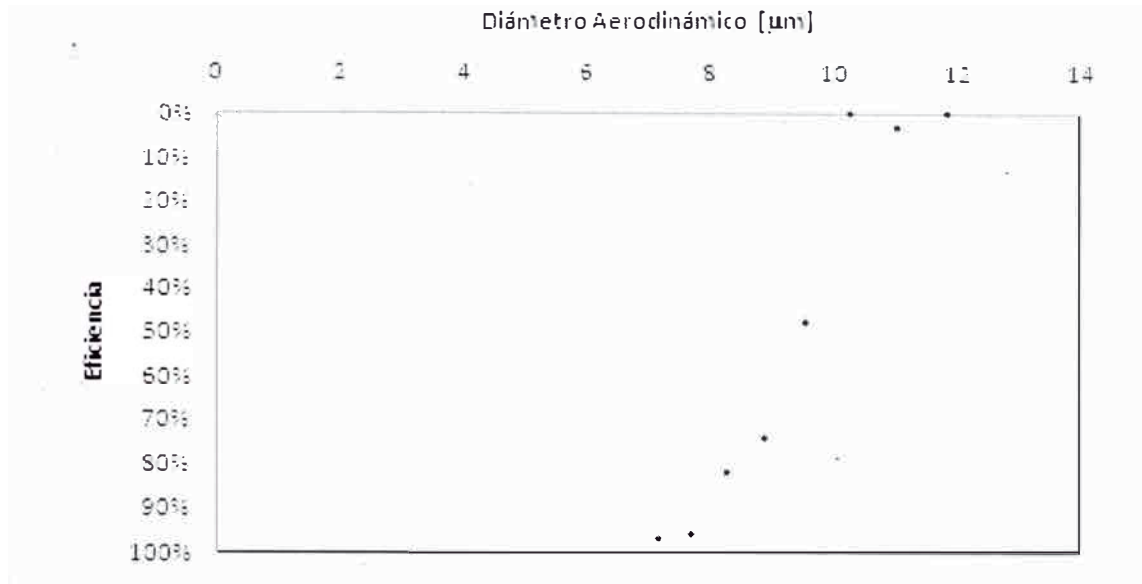
AIRE CON PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN



## Ilustración 47: Rendimiento de MiniPartisol

## Rendimiento de Mini-Partisol PM-10

Flujo de 5 l/min



## 6.2. Actividades

- a) Se seleccionaron 5 puntos de monitoreo en función de los puntos de generación y los vientos predominantes, según se indica en el plano E-4.5.
- b) Utilizando el equipo Mini Partisol Modelo 2100, se tomaron muestras de 24 horas, desde las 0:00 hasta las 23:59 horas, trasladando el equipo a cada uno de los lugares de monitoreo alternadamente, como se muestra en la Tabla 14, y el plano E-4.5

**Tabla 23: Cronograma de toma de muestras de PM10 en las distintas estaciones de monitoreo.**

<b>Código</b>	<b>Punto de muestreo</b>	<b>Fecha</b>	<b>Filtro</b>
<b>01-GA(01)</b>	Cerca al nido de gaviotines	17-01-07	001-07
<b>03-MF(01)</b>	Cerca al módulo de fuerza	19-01-07	003-07
<b>04-RA(01)</b>	Cerca al radar	22-01-07	004-07
<b>01-CO(01)</b>	Al frente del ECAMP	23-01-07	005-07
<b>01-FB(01)</b>	Cerca al nido de gaviotines	24-01-07	007-07
<b>01-GA(01)</b>	Cerca al módulo de fuerza	25-01-07	008-07
<b>01-MF(01)</b>	Cerca al módulo de fuerza	27-01-07	009-07
<b>01-RA(01)</b>	Cerca al radar	29-01-07	010-07

#### 6.2.1. Medio Colector: Filtros

Filtros de Cuarzo de 47mm de diámetro, poro de 1.2  $\mu\text{m}$ ,  
Fabricante SKC Inc. Modelo No: 225-1830

Fueron colocados sobre el lado rugoso para la colección de partículas.

El cassette de 47mm tiene un área de 42.6  $\text{mm}^2$

### 6.2.2. Procedimiento de preparación de muestras

El procedimiento que se explica a continuación es el procedimiento general para la preparación de filtros. Se enviaron los filtros al laboratorio de la Dirección General de Salud Ambiental del Ministerio de Salud (DIGESA) para su preparación.

- Se inspeccionó en cada filtro la existencia de agujeros, partículas, y otras imperfecciones.
- Se estableció un registro de información de filtros y se le asignó un código de identificación en cada filtro.
- Se equilibró cada filtro en el medio ambiente acondicionado durante 24 horas.
- Tras el equilibrio, se pesó cada filtro y registró el peso pre-muestreo con el filtro número de identificación.

DIGESA proveyó de un formulario llamado "Cadena de Custodia" para el registro de la toma de muestras. Véase anexo 8.

### 6.2.3. Procedimiento general de toma de muestras

- Se instalaron los filtros pre-presados según el manual de instrucciones del fabricante, Rupert y Patashnick (R&P)
- Se llevó a cabo una verificación del caudal, y detección de fugas constantemente.
- Sobre el registro "Cadena de Custodia" se anotó la información necesaria (el sitio de ubicación, la codificación y fecha de muestreo).

### 6.3. Parámetros de muestreo

Flujo de muestreo: 7.5 litros por minuto

Duración de muestreo:  $24 \pm 1$  horas.

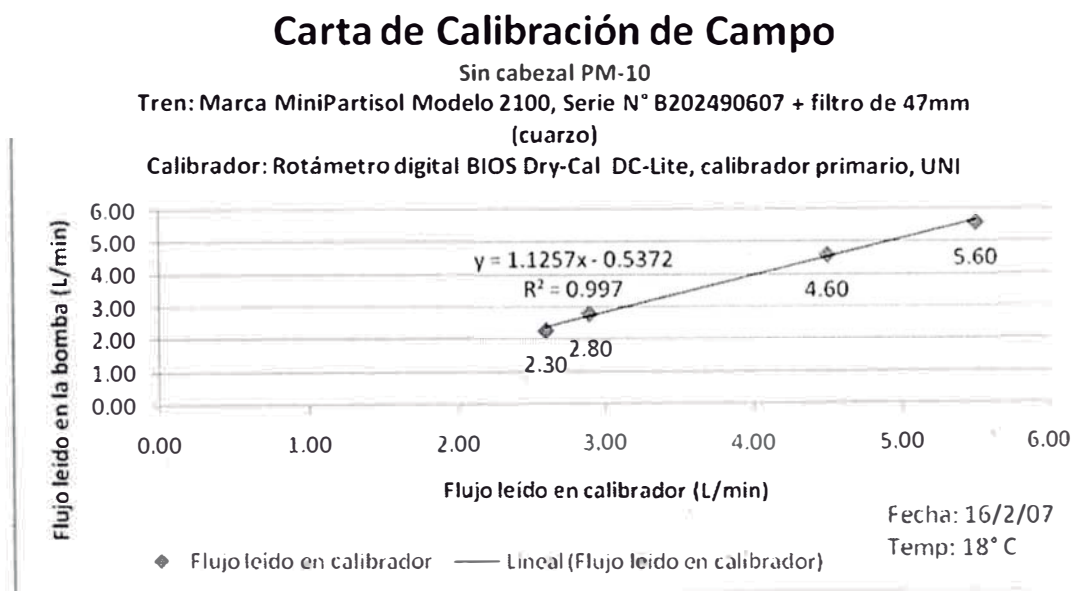
Análisis de la muestra: Por gravimetría, con microbalanza digital de precisión, en laboratorio de DIGESA.

#### 6.4. Calibración

El registro de la calibración de fábrica del MiniPartisol se encuentra en el Anexo 13. Fue llevado a cabo el 8 de febrero del 2006, una antigüedad menor a la de un año desde la finalización de toma de muestras (29 de enero del 2007).

Se llevó una verificación de la calibración en el campo, usando un rotámetro digital BIOS Dry-Cal DC-Lite, el día 16 de febrero de 2007 en el módulo de Laboratorios. No se realizaron ajustes de calibración al sistema.

**Ilustración 48: Carta de calibración de campo MiniPartisol 2100**

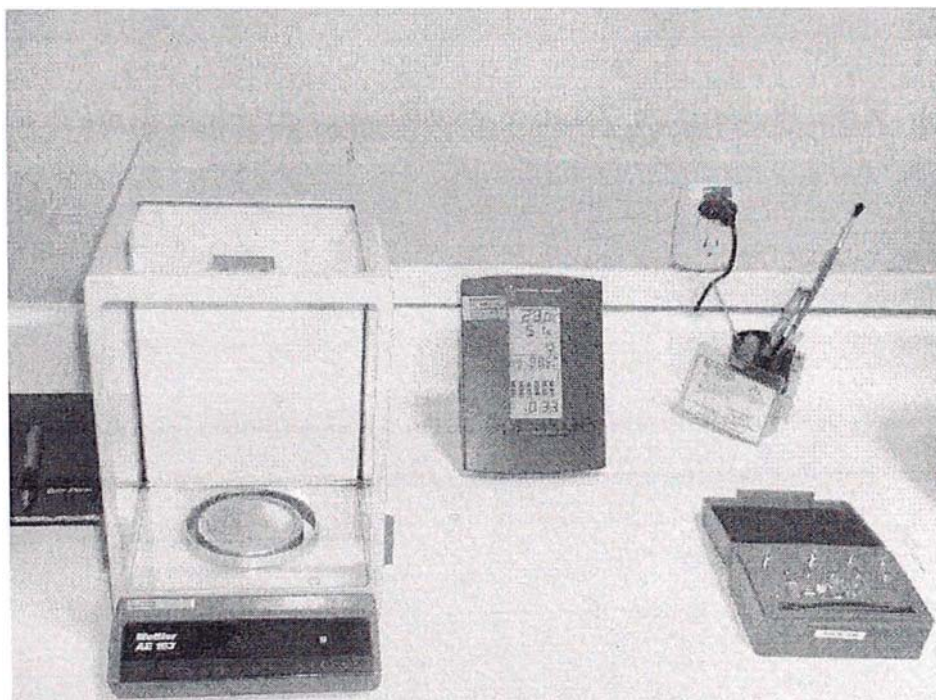


### 6.5. Análisis Gravimétrico

El análisis gravimétrico fue llevado a cabo en el Laboratorio de Control de Aire de la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA). El pesado pre-muestreo y post-muestreo lo realizó la Química Adela Vega Ríos, mediante una balanza analítica digital Marca Mettler, Modelo AE 163, con precisión de 0.00001g. Esta balanza digital se calibra con diferentes pesas patrón. Además, la Empresa Metroil se encarga de calibrar cada dos años la Balanza. La calibración anterior al uso de estos equipos para la campaña de la Antártida fue el de 03 de febrero de 2006, es decir una antigüedad menor a la de un año, según el informe M-074-2006.

A continuación se presenta las ilustraciones de los instrumentos y accesorios utilizados:

Ilustración 49: Balanza analítica y accesorios para el pesado de las muestras



Izquierda: Balanza analítica, centro: higrometro digital, derecha: Pesas para calibración y pinzas.



Ilustración 50: Acondicionamiento (Deseccación) de los filtros para bajo volumen

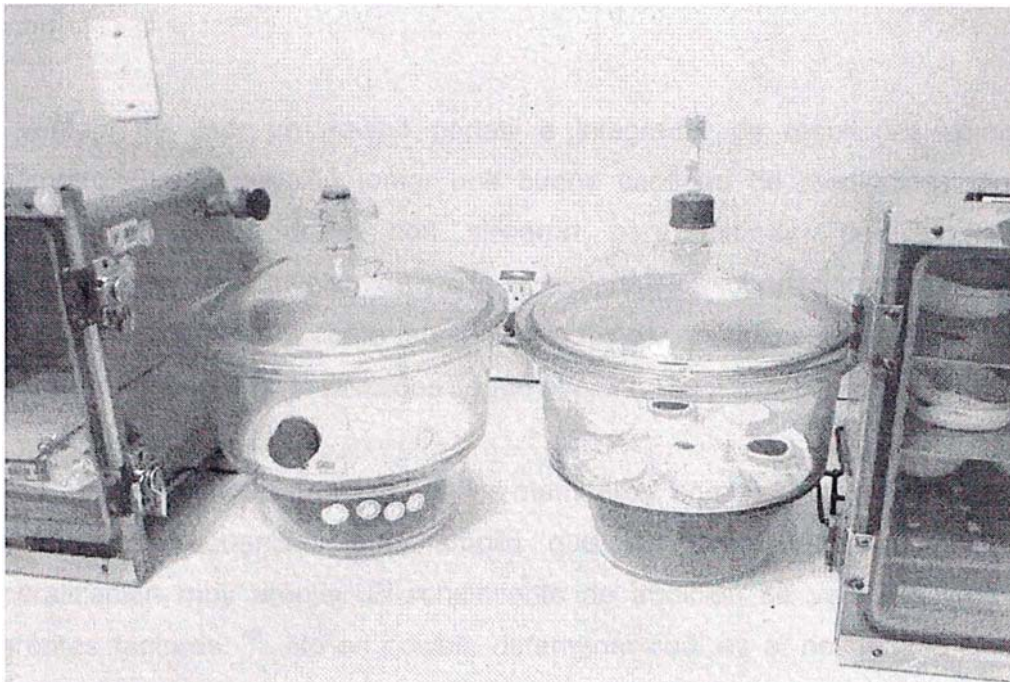
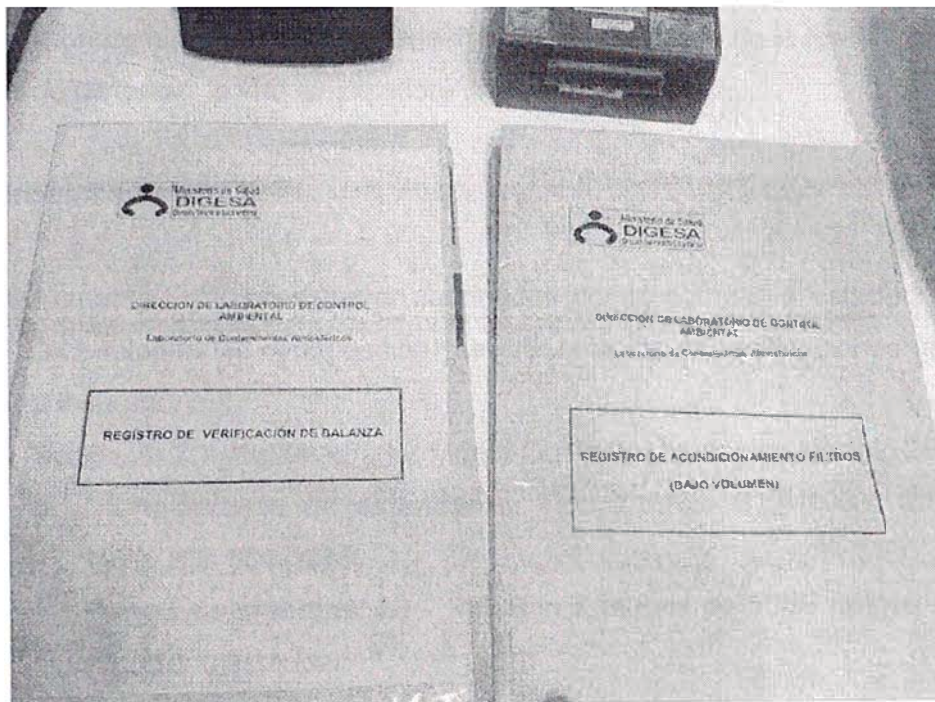


Ilustración 51: Registros de verificación de balanza y acondicionamiento de filtros



## 7. Evaluación de Ruido Ambiental en la Estación Científica Antártica Machu Picchu

La ventaja de usar un equipo portátil e integrador de resultados como el sonómetro Quest, permitió tomar una buena cantidad de mediciones, de tal manera que estos datos nos sirvieron para estimar, por medio de interpolaciones, los niveles de ruido a regiones de ocupación por las aves locales en el ECAMP, como son los pingüinos, gaviotines y skúas. Estas regiones se encuentran localizadas según el plano UB-2.2.

Gridi-Pappa y Narinsa explican que los mamíferos, como el hombre perciben un espectro de frecuencias más amplio que las aves, pero que es una generalización muy amplia. El rendimiento de audición se verá afectado por diferentes factores.<sup>42</sup> No es posible determinar cuál es el riesgo a lo que se exponen estas aves, ni cuál es el límite permisible. Lo que si sabemos, es que los niveles de ruido naturales (fondo) en la zona, oscilan entre 40 y 50 dBA, un poco menor a los niveles de ruido en zonas especiales.

La medición de ruido se realizó desde 1 metro de distancia de la fuente, hasta 50 metros de distancia, como se explicará líneas abajo.

### 7.1. Instrumentación

Los instrumentos utilizados fueron fabricados por la compañía estadounidense Quest Technologies. A continuación se presenta las especificaciones técnicas de estos instrumentos.

Sonómetro Digital Integrador Marca Quest Technologies Modelo 2900

- **Cumplimiento de estándares:** Tipo 2 ANSI S1.4-1983, IEC 651-1979, IEC 804-1985.
- **Rango de medidas:** 20 - 140dB in 7 rangos de 60dB rangos con un micrófono estándar.

- **Pantalla:** Pantalla digital de cristal líquido de 4 dígitos con un indicador cuasi-análogo de 60dB adicional en incrementos de 2dB. Resolución al 0.1 dB. El tiempo se indica en min:s, o en h:min. Las alertas incluidas son revisión de carga de baterías, grabación, parada, y sobrecarga.
- **Tipo de medidas:** Nivel de presión sonora (SPL), Nivel equivalente (LEQ o LAVG), Nivel máximo (LMAX), Nivel mínimo (LMIN), Niveles percentiles (LN), tiempo de grabación (RTxx)
- **Modo de medidas automáticas:** Incluye programación para una medida con una duración de tiempo determinado.
- **Límite de medida mínima:** 27 dBA sólo con el medidor con un micrófono Modelo QE4146.
- **Límite de medida máxima:** 120 dB con factor de cresta de 20 dB, con el medidor y el micrófono modelo QE4146. Si se sobrepasa este nivel, registrará una indicación de sobrecarga. Otros tipos de micrófono pueden elevar el nivel máximo de medida.
- **Redes de ponderación de frecuencias:** A, C y Linear. Cuando se usa un juego de filtros (analizador de bandas), cualquiera de las ponderaciones pueden ser utilizadas.
- **Respuesta del medidor:** Lenta, Rápida, Impulsiva y Pico. (La medida de grabación de Pico está definida para una constante de tiempo menor de 50 microsegundos)
- **Micrófono:** Micrófono estándar tipo condensador prepolarizado (electret), removible de ½ pulgada de diámetro.
- **Preamplificador:** Modelo 056-852. Acepta directamente un micrófono de media pulgada. Removible. La impedancia de entrada es mayor que 1 giga ohm in paralelo con 47 pF.
- **Impedancia del medidor:** La impedancia de ingreso es de 1 Megohmio en serie con 0.1uF. El máximo voltaje sinusoidal de ingreso es 4V RMS

- **Salida de comunicaciones:** Salida serial RS-232 para impresoras o computadoras.
- **Rango de frecuencias:** 4 Hz (-3dB) a 50 kHz (-3dB) en ponderación lineal para el medidor solo (Sujeto a limitaciones del micrófono).
- **Rango de referencia:** 60 a 120 dB
- **Nivel de presión sonora de referencia:** 114 dB
- **Frecuencia de referencia:** 1 kHz
- **Precisión:** Dentro de 0.5 dB a 25°C; dentro de 1.0 dB sobre el rango de temperaturas de -10°C a +50°C.
- **Capacidad de memoria:** Estándar de 128K permite almacenar 5 cantidades en intervalos de 1 segundo hasta 4 horas.
- **Rango de Temperatura:** Opera desde: -10°C hasta +50°C con una precisión dentro de un margen de +/- 0.5 dB.
- **Humedad de operación:** Sobre un rango de 30 a 90% de humedad relativa la precisión dentro de +/- 0.5 dB.
- **Efectos de los campos magnéticos:** Un campo magnético de 1 Oersted (80A/m) a 60Hz produce a lectura máxima de 40 dB en Ponderación lineal.
- **Efectos de campos electrostáticos:** Despreciable siempre y cuando se utilice la malla de protección en el micrófono.
- **Baterías:** 2 baterías alcalinas de 9 voltios
- **Montaje sobre trípode:** Acepta un trípode estándar con tornillo de 1/4-20
- **Tamaño:** 84 x 208 x 47mm sin incluir el amplificador
- **Peso:** 654g incluyendo el preamplificador y las baterías.

Juego de Filtros de Bandas de Tercio de Octava Quest OB-300:

- **Cumplimiento de estándares:** ANSI S1.11-1986, Orden 3, Tipo 2 y IEC R225-1966 para filtros de banda de octava y tercios de octava.
- **Frecuencias centrales:** (Modo 1/3) 33 frecuencias desde 12.5 Hz a 20 kHz. (Modo 1/1) 11 frecuencias desde 16 Hz a 16 kHz.

- **Selección de frecuencias:** Control manual total, o automático secuencial que va por pasos a través de cada banda.
- **Fuente de energía:** El sonómetro
- **Tamaño:** 84 x 107 x 47mm
- **Peso:** 255 gramos

Calibrador Acústico QC-10, 114dB a una salida de 1000 Hz

- **Cumplimiento de estándares:** ANSI S1.40-1984, y IEC 942:1988 Clase 1
- **Frecuencias de salida:** 1000 Hz.
- **Amplitud de salida:** 114 dB
- **Precisión de salida:** +/-0.3dB a 20°C y 760mmHg.
- **Distorsión:** Menos del 1% dentro del rango de operación de temperatura y humedad.
- **Temperatura:** Rango de operación -10°C a 50°C, +/- 0.3 dB
- **Humedad:** Rango de operación de 5 a 95% con un cambio menor de 0.1dB en la salida
- **Efectos debido a campos externos:** Efectos despreciables hasta 5 Osted a 60 Hz.
- **Energía:** Batería de 9V
- **Tamaño:** 10.4cm de largo, 6cm de diámetro.
- **Peso:** 350 gramos

Pantalla Cortavientos

Trípode SLIK U-5000, ligero, patas plegables, de aluminio, altura máxima 1.15m.

Software Quest Suite Profesional

## 7.2. Calibración

El registro de la calibración de fábrica del Sonómetro Quest 2900 se encuentra en el Anexo 14. Fue llevado a cabo el 31 de agosto del 2006, una antigüedad menor a la de seis meses desde la finalización de toma de muestras (02 de febrero del 2007).

Se llevó una verificación de la calibración en el campo, usando el calibrador de campo Q-10, cada día en el módulo de Laboratorios. Este calibrador emite una onda de 114 dB a 1000 hertz, que es la frecuencia en la cual la ponderación A, C y Lineal coinciden. Se realizaron ajustes al sistema cada vez que había una variación mayor a 0.1 dB.

### 7.3. Procedimiento de medición

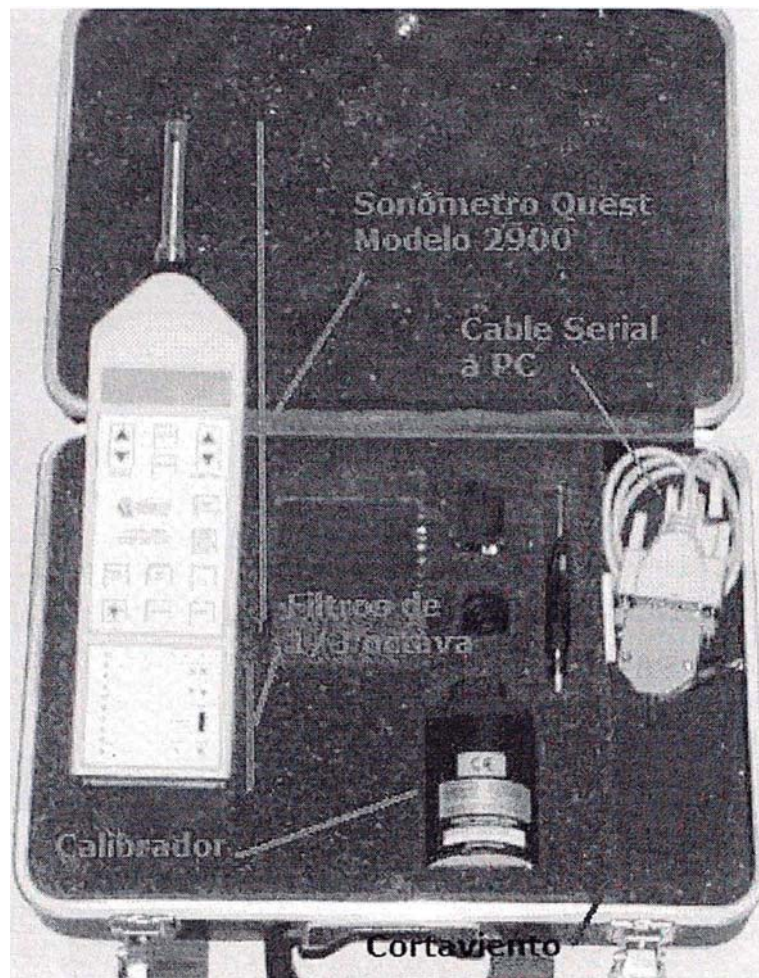
En base al fundamento teórico antes descrito y siguiendo como guía a las normas ISO 3744, ISO 1996-1, ISO 1996-2, e ISO 9613:2. Se tomó muestras equidistantes a los módulos de la Estación Científica Antártica Machu Picchu, tomando muestras en paralelas al perímetro de los módulos y radialmente desde el centro de ruido de la fuente mayor, el generador de corriente eléctrica, ubicada en el módulo de fuerza.

En primer lugar, se tomaron medidas a 1 metro de los límites del módulo de fuerza, tomando como centro la extensión geométrica el centro de la puerta del módulo, y el tubo de escape del generador, que se encontraba en una pared, y tomaron los valores de nivel presión sonora. Luego se tomó las medidas a 2 metros de la pared, y se tomaron los valores. De esta manera se pudo estimar el nivel de potencia sonora del generador.

Tras esto, se tomaron medidas del nivel de presión sonora equidistantes a las distancias de 4, 6, 8, 12, 16, 24, 32, 48 metros, para cada una de las direcciones radiales, tal como se explica en el acápite 2.2.5 y se muestra en el plano E-5.5, para poder evaluar la directividad del sistema y observar la atenuación de ruido por la divergencia (el nivel de presión sonora decae 6 dB cada que vez que se duplica la distancia), y los otros factores que atenúan, a saber, los efectos del suelo y la absorción atmosférica.

Adicionalmente, se tomaron muestras del espectro acústico del generador y muestras complementarias para verificar los resultados una vez que se ejecute el modelo.

Se establecieron 2 intervalos de medición definidos por una hora continua y 10 minutos continuos.

**Ilustración 52: Equipo de monitoreo de ruido utilizados**



**Ilustración 53: Medición de niveles de ruido**



### 7.3.1. Posición de las mediciones

La posición de las mediciones se trazó tomando como referencia los ejes arquitectónicos de los módulos de ECAMP, donde el eje Y (90°) forma una azimuth de 9° con respecto al norte geográfico.

El origen de este sistema de referencia de coordenadas polares, está localizado en el centro acústico del módulo de fuerza, ubicado entre las dos posiciones donde se emite mayor ruido, la puerta de acceso del módulo (siempre abierta), y el tubo de escape del generador.

Se trazaron las siguientes líneas imaginarias para tomar las mediciones, cada 45°: 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315°. Adicionalmente, debido a la directividad del sistema, se tomó una línea adicional de 292.5° con respecto al origen.

Una vez trazadas las líneas imaginarias, se tomaron las medidas de ruido a estas distancias 1, 2, 4, 6, 8, 12, 16, 24, 32 y 48 metros, con lo cual se pudo definir los puntos de monitoreo y referirlos al origen mediante un ángulo y la distancia.

Estos fueron los puntos de monitoreo de ruido:

<u>Eje 0°:</u>	(5, 0°), (7.5, 0°), (10, 0°), (15, 0°), (20, 0°), (25, 0°), (30, 0°), (40, 0°), (50, 0°)
<u>Eje 45°:</u>	(5, 45°), (7.5, 45°), (10, 45°), (15, 45°), (20, 45°), (25, 45°), (30, 45°), (32, 45°), (48, 45°)
<u>Eje 90°:</u>	(5, 90°), (7.5, 90°), (10, 90°), (15, 90°), (20, 90°), (25, 90°), (24, 90°), (32, 90°), (48, 90°)
<u>Eje 135°:</u>	(5, 135°), (7.5, 135°), (10, 135°), (15, 135°), (20, 135°), (25, 135°), (24, 135°), (32, 135°), (48, 135°)
<u>Eje 180°:</u>	(5, 180°), (7.5, 180°), (10, 180°), (15, 180°), (20, 180°), (25, 180°), (24, 180°), (32, 180°), (48, 180°),
<u>Eje 225°:</u>	(5, 225°), (7.5, 225°), (10, 225°), (15, 225°), (20, 225°), (25, 225°),

	(24, 225°), (32, 225°), (48, 225°)
<u>Eje 270°</u>	(5, 270°), (7.5, 270°), (10, 270°), (15, 270°), (20, 270°), (25, 270°), (24, 270°), (32, 270°), (48, 270°)
<u>Eje 292.5°</u>	(5, 292.5°), (7.5, 292.5°), (10, 292.5°), (15, 292.5°), (20, 292.5°), (25, 292.5°), (24, 292.5°), (32, 292.5°), (48, 292.5°)
<u>Eje 315°</u>	(5, 315°), (7.5, 315°), (10, 315°), (15, 315°), (20, 315°), (25, 315°), (24, 315°), (32, 315°), (48, 315°)

Además de los puntos medidos radialmente, se tomaron puntos adicionales paralelos a los módulos, tomados a 5 metros de distancia. Ver el plano UB-3.5

**Ilustración 54: Medición de NPSA a 40 metros del generador eléctrico en el módulo de fuerza del ECAMP (40,0ª)**

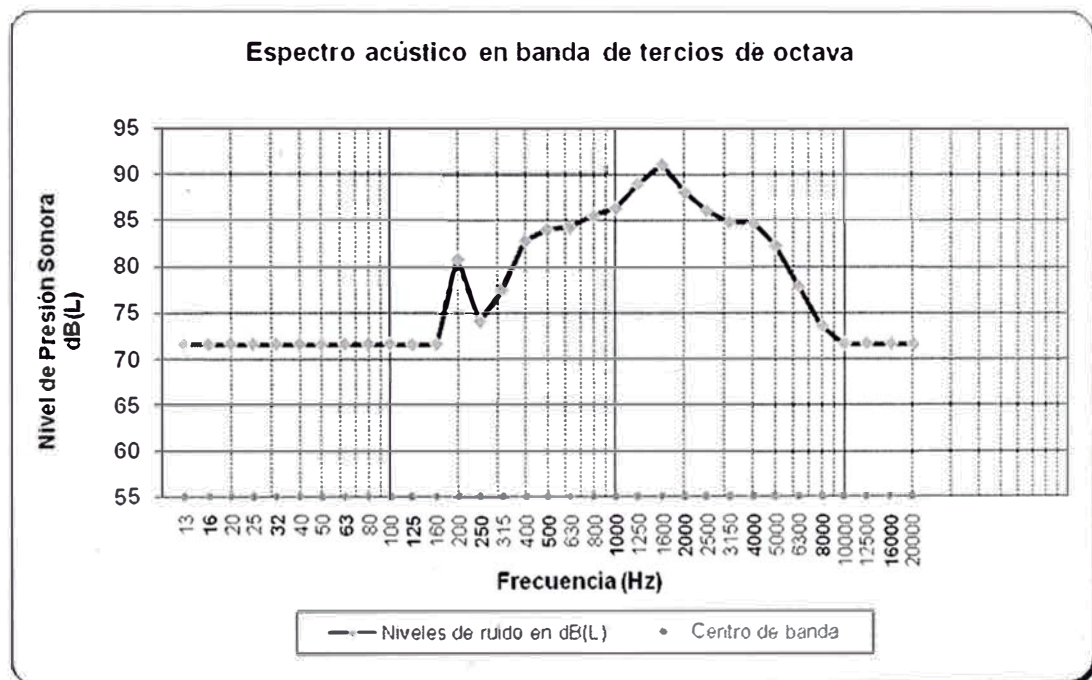


### 7.3.2. Datos de la emisión de la fuente de ruido

El ruido emitido por el generador fue constante, con una variación menor a 2dB.

El espectro acústico en tercios de octavas tomado a una distancia de 2 metros de la fuente (Tabla 15 e ilustración 39) indica que la fuente genera un ruido predominantemente medio.

**Ilustración 55: Espectro acústico de la fuente**



Se observa que el ruido es predominantemente medio, con pico en la banda de tercios de 1600Hz.

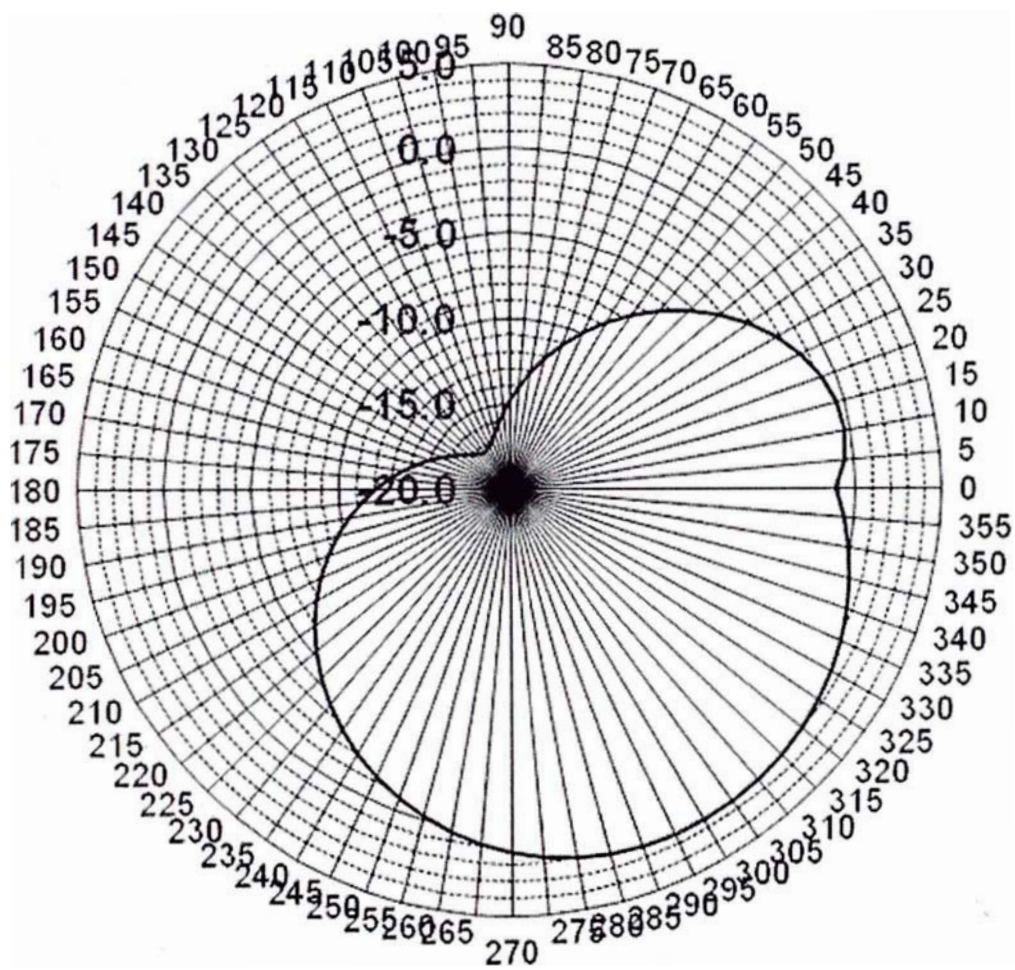
Tabla 24: Nivel de Ruido en tercios de octava

CENTRO DE BANDA	NIVEL dB(L)
12.5	71.6
16	71.6
20	71.6
25	71.6
31.5	71.6
40	71.6
50	71.6
63	71.6
80	71.6
100	71.6
125	71.6
160	71.6
200	80.9
250	74.1
315	77.3
400	82.9
500	84.0
630	84.3
800	85.5
1000	86.3
1250	89.0
1600	91.0
2000	88.1
2500	86.1
3150	84.8
4000	84.6
5000	82.2
6300	77.8
8000	73.5
10000	71.6
12500	71.6
16000	71.6
20000	71.6

El ruido se propaga con una directividad importante, como se puede apreciar en la siguiente ilustración y en el plano E-5.5

Ilustración 56: Directividad del sistema

## Directividad del sistema



□ Atenuación o incremento en dB

## 8. Resultados

### 8.1. Resultados de la Evaluación de Gases

#### Ozono medida por colector pasivo

método de muestreo: tubo pasivo método de análisis: espiridolebno SP03

Peru  
 Projekt: Antar XVII  
 Fecha de análisis: 2.03.2007  
 periodo  
 17/01/2007 hasta 24/01/2007  
 blanco 50  
 Color reactivo: 2.03.2007

lugar código PEK	inicio fecha	hora	fin fecha	hora	tiempo decimal	código	Absorción bruta			concentración ug/m3			promedio ug/m3	rel. SD %		
							valor 1	código	valor 2	valor 3	valor 1	valor 2			valor 3	
AT-01 tenete base	17/01/2007	15:20	24/01/2007	18:00	170.67	1	285	2	287	3	205	54.2	54.5	54.0	54.2	0.4
AT-02 garvotin	17/01/2007	15:43	24/01/2007	18:10	170.45	7	445	8	430	9	496	91.1	87.4	102.6	93.7	8.5
AT-3 mod. Fuerza	17/01/2007	15:55	24/01/2007	18:20	170.42	10	257	11	279	12	270	47.6	52.7	50.6	50.3	5.1
AT-04 cocina	17/01/2007	16:06	24/01/2007	18:30	170.57	13	345	14	315	15	327	57.9	61.2	63.8	64.3	5.2
AT-05 lagar	17/01/2007	16:16	24/01/2007	18:40	170.40	4	265	5	288	6	287	54.1	54.8	54.5	54.5	0.6

Fecha de entrada: 2.03.2007

límite de detección 5.1 ug/m3 - 7 días  
 Ir-cc-neumore www.passam.ch/products.htm

Los valores son solo representativas para el lugar de medida inmediato. Conclusiones para lugares más lejos con reserva.  
 Los datos son parte de una serie a largo plazo y no es permitido de publicar en extracto sin permiso de passam S.A.

## Dioxido de nitrogeno (NO2) medida por colector pasivo

método de muestreo: tubo pasivo      método de análisis: Saltzman SP01

14

Peru

Projekt: Antar XVII

Periodo

17/01/2007

hasta 02/02/2007

Color reactivo: 21.02.2007

hasta 9°C

0.6536 mg/m<sup>3</sup>

Fecha de análisis: 5.03.2007

Barra 0.011

lugar	codigo FEK	inicio		fin		hora	hora	tiempo	cedida	valor 1	valor 2	codigo	valor 3	concentración ug/m <sup>3</sup>			media ug/m <sup>3</sup>	desviación estándar
		fecha	hora	fecha	hora									valor 1	valor 2	valor 3		
AT-01	fanate base	17/01/2007	15:20	02/02/2007	09:29	378.05	13	0.020	14	0.024	16	0.026	0.8	1.3	1.5	1.2	29.2	
AT-02	gavioin	17/01/2007	15:45	02/02/2007	09:46	377.95	15	0.047	20	0.053	21	0.042	3.5	4.5	2.4	4.0	15.5	
AT-03	mod. fuerza	17/01/2007	16:55	02/02/2007	09:50	377.92	22	0.046	23	0.052	24	0.060	39.3	30.0	39.9	38.0	2.1	
AT-04	occine	17/01/2007	16:08	02/02/2007	10:20	379.20	25	0.040	29	0.036	27	0.042	3.1	2.7	2.4	3.1	11.3	
AT-05	recal	17/01/2007	16:15	02/02/2007	10:00	377.73	16	0.053	17	0.102	10	0.103	9.2	10.0	10.4	10.0	6.2	

Fecha de entrada: 2.03.2007

límite de selección

0.4 ug/m<sup>3</sup> 4 días

noctidumbre [www.passam.ch/products.htm](http://www.passam.ch/products.htm)

Los valores son solo representativos para el lugar de medida inmediato. Conclusiones para lugares más lejos son reservadas.  
 Los datos son parte de una serie a largo plazo y no es permitido de publicar en extracto sin permisión de passam S.A.



# Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)-Medida con colector pasiva

método de muestreo: tubo pasivo      estado de análisis: cromatografía iónica SPIC

Peru      Proyecto: Antar XVII      Fecha de análisis: 19.01.2007      Periodo: 17/01/2007 hasta 20/01/2007      Volumen: 4      Tasa de colección: 11.9 ml/min

lugar	inicio		fin		hora	tiempo decimal	codigo	carbasa SO <sub>2</sub> (ppb)			concentración ug/m <sup>3</sup>			promedio ug/m <sup>3</sup>	re. SL %
	fecha	hora	fecha	hora				valor 1	valor 2	valor 3	valor 1	valor 2	valor 3		
AT-01 Fiestas base	17/01/2007	15:20	22/02/2007	09:25	09:25	378.08	57	2.477	58	2.706	2.324	2.2	0.2	0.7	2.7
AT-02 Gasolin	17/01/2007	16:43	22/02/2007	08:40	08:40	377.86	64	2.634	70	2.421	n.d.	2.8	1.7	n.d.	2.2
AT-03 Mds. Fuerza	17/01/2007	15:55	22/02/2007	09:50	09:50	377.92	71	2.642	19	2.550	2.068	3.9	4.2	2.0	3.7
AT-04 Cocina	17/01/2007	16:05	22/02/2007	08:47	08:47	368.69	81	2.418	53	2.477	2.821	1.5	2.1	5.4	3.0
AT-05 Tadar	17/01/2007	16:15	22/02/2007	10:00	10:00	377.73	82	2.331	53	n.d.	2.871	0.8	n.d.	6.1	3.5

Fecha de entrada: 2.02.2007

Los valores son solo representativos para el lugar de muestreo inmediato. Conclusiones para lugares más lejos con reserva.

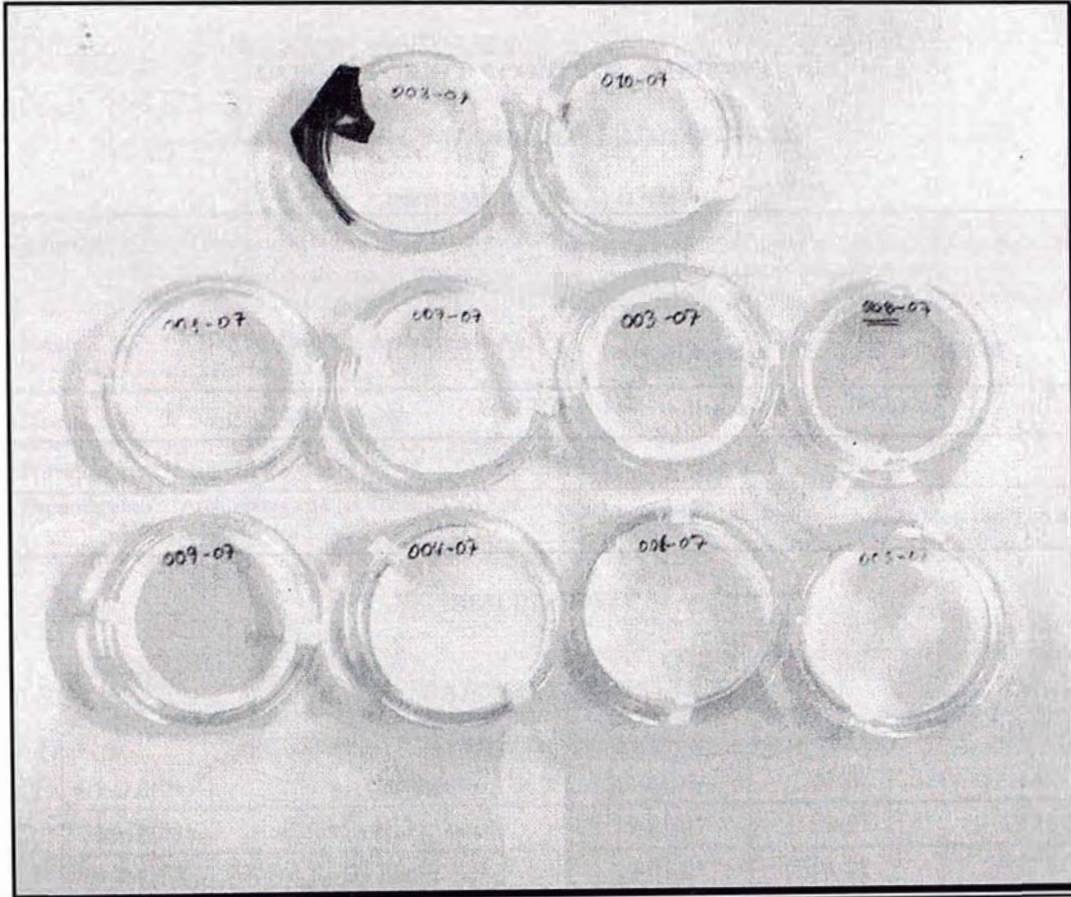
Los datos son parte de una serie a largo plazo y no es permitido se publicar en extracto sin permiso de Passair S.A.

límite de detección: 0.5 ug/m<sup>3</sup> a 1 clase

Incremento por cuestion:

## 8.2. Resultados de la Evaluación de Material Particulado con Diámetro Aerodinámico Menor a 10 micrómetros

**Ilustración 57: Filtros utilizados en el muestreo**



Filtros con muestra fotografiados en Lima, antes de ser enviados al Laboratorio de Digesa, donde fueron pre-pesados para su respectivo análisis gravimétrico.



MINISTERIO DE SALUD  
Dirección General de Salud Ambiental  
"DIGESA"  
Las Amapolas Nº 350 Lince Telf : 442-8353 - 442-8356  
Fax : 4226404 e-mail: digesa@digesa.minsa.gob.pe

UDADANO"

"AÑO DEL DEBER

## LABORATORIO DE CONTROL AMBIENTAL

### ANÁLISIS DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS

#### INFORME DE ENSAYO N°

Solicitante : Universidad Nacional de Ingeniería Facultad de Ingeniería Ambiental	Programa: Estudio de la Calidad del Aire en la Estación Antártica Macchu Picchu
Fuente : Estación Científica Antártica Machu Picchu	Fecha de muestreo : Febrero de 2007
Distrito : Bahía del Almirantazgo	Fecha de llegada al Lab. : 19-02-07
Provincia : Isla del Rey Jorge	Fecha de reporte : 23-03-07
Departamento : Archipiélago de las Shetland del Sur Antártica	Muestra tomada por : Adrián Moscoso Bieberach

#### RESULTADOS

N° REF. LAB.	DATOS DE MUESTREO			PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
	PUNTO DE MUESTREO	FECHA	N° FILTRO	
01-GA(01)	01 Gaviotin	17-01-07	01-07	14
03-MF(01)	02 Módulo de Fuerza	19-01-07	03-07	15
04-RA(01)	03 Radar	22-01-07	04-07	7
05-CO(01)	04 Cocina	23-01-07	05-07	17
06-FB(01)	05 Frente de Base	24-01-07	06-07	<LDM
07-GA(02)	01 Gaviotin	25-01-07	07-07	6
08-MF(02)	02 Módulo de Fuerza	27-01-07	08-07	11
09-MF(03)	02 Módulo de Fuerza	29-01-07	09-07	<LDM
10-RA(02)	03 Radar	31-01-07	10-07	<LDM
<i>Limite de Detección (LDM)</i>				6 µg/m <sup>3</sup>
<i>Limites Permisibles (ECA)</i>				150 (µg/m <sup>3</sup> )
<b>Métodos de Análisis:</b> <i>Determinación de Material Particulado como PM10: Método de Referencia EPA - CFR 40, Parte 50, Apéndice J</i>				

### 8.3. Resultados de la Evaluación de Ruido

El nivel de potencia sonora se ha estimado en 102 dBA. En las siguientes ilustraciones se muestran los valores de nivel de presión sonora obtenidos, en dBA, a diferentes distancias y direcciones, tomando como punto de origen el generador eléctrico.

**Ilustración 58: Gráfica que correlaciona los NPSA y los niveles de presión sonora estimados bajo el modelo para el ángulo de 0°.**

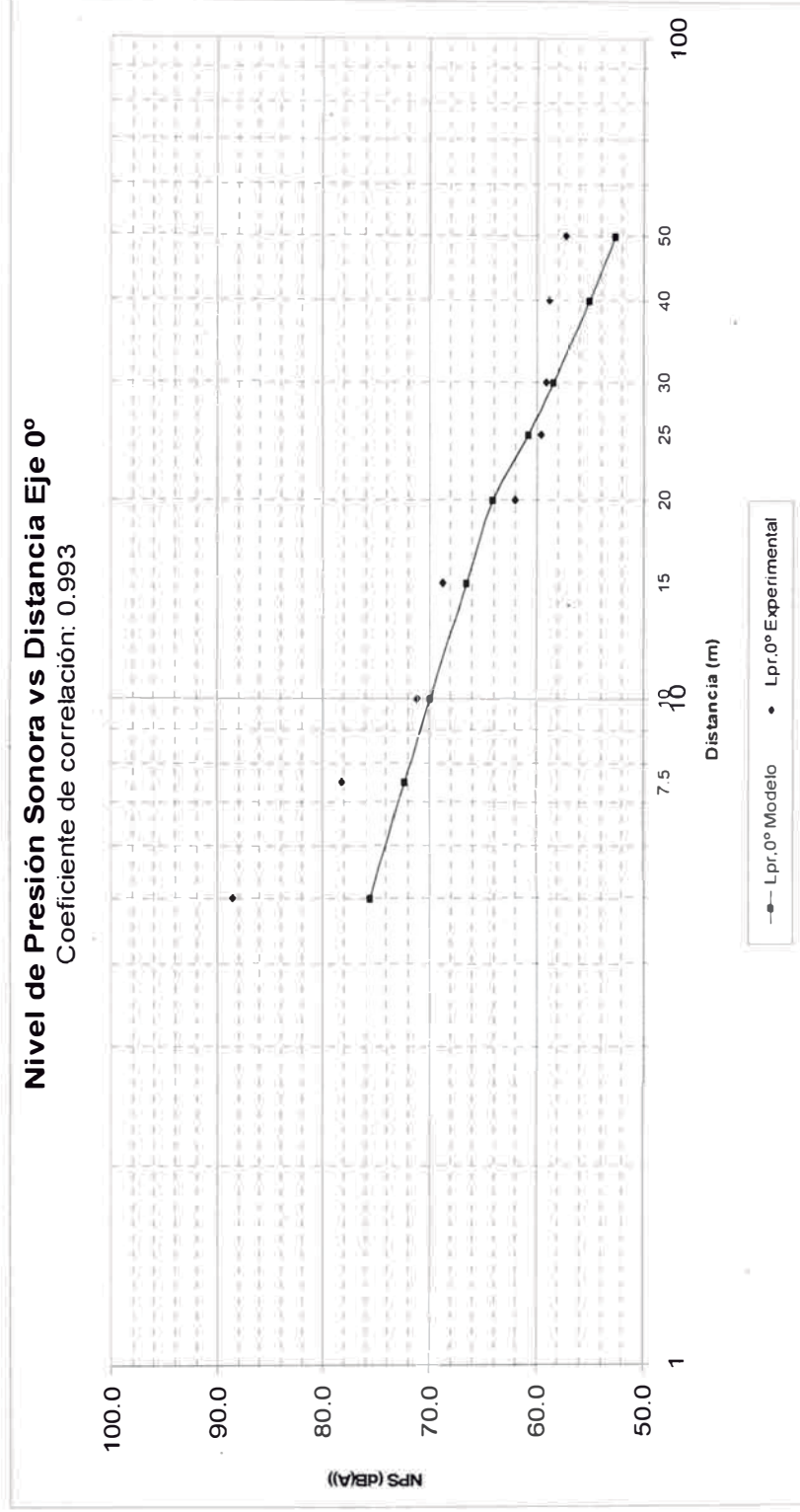


Ilustración 59 Gráfica que correlaciona los NPSA y los niveles de presión sonora estimados bajo el modelo para el ángulo de 45.

### Nivel de Presión Sonora vs Distancia Eje 45°

Coefficiente de correlación: 0.966

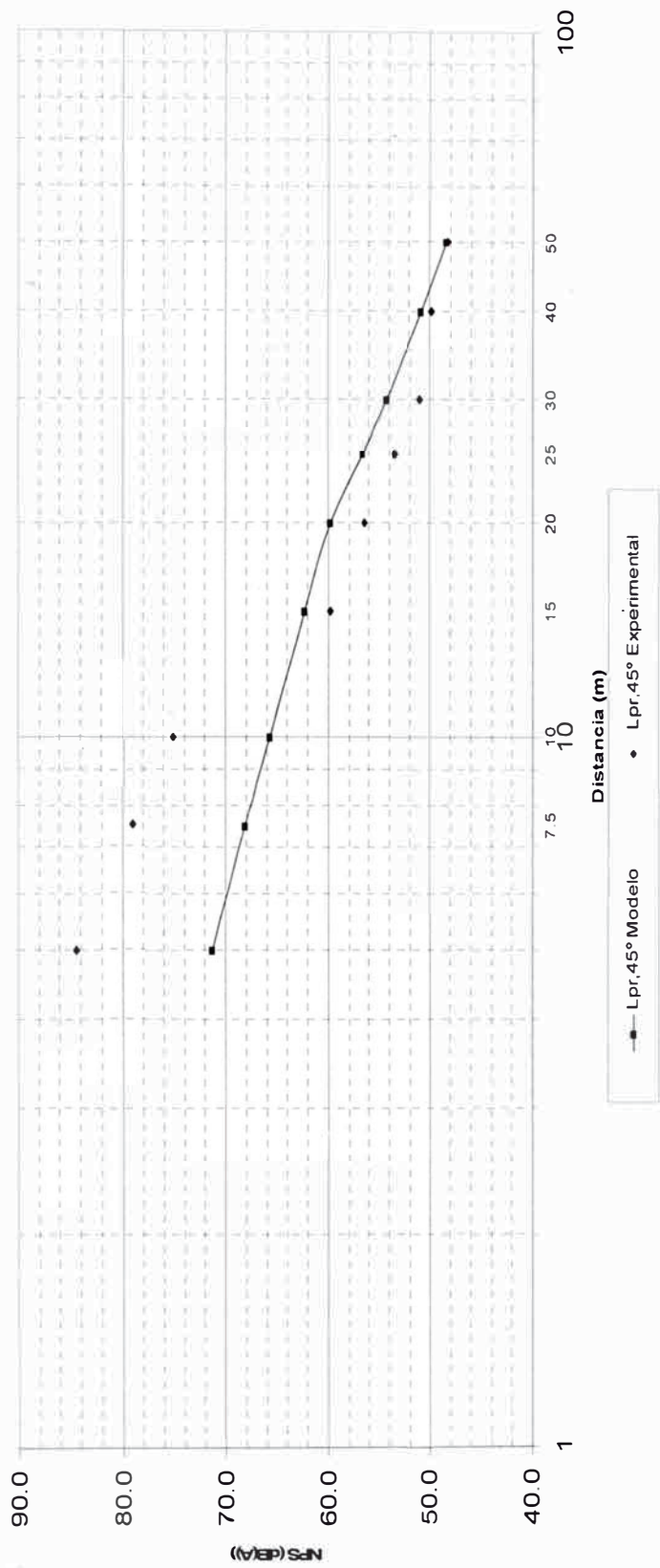


Ilustración 60 Gráfica que correlaciona los NPSA y los niveles de presión sonora estimados bajo el modelo para el ángulo de 90°.

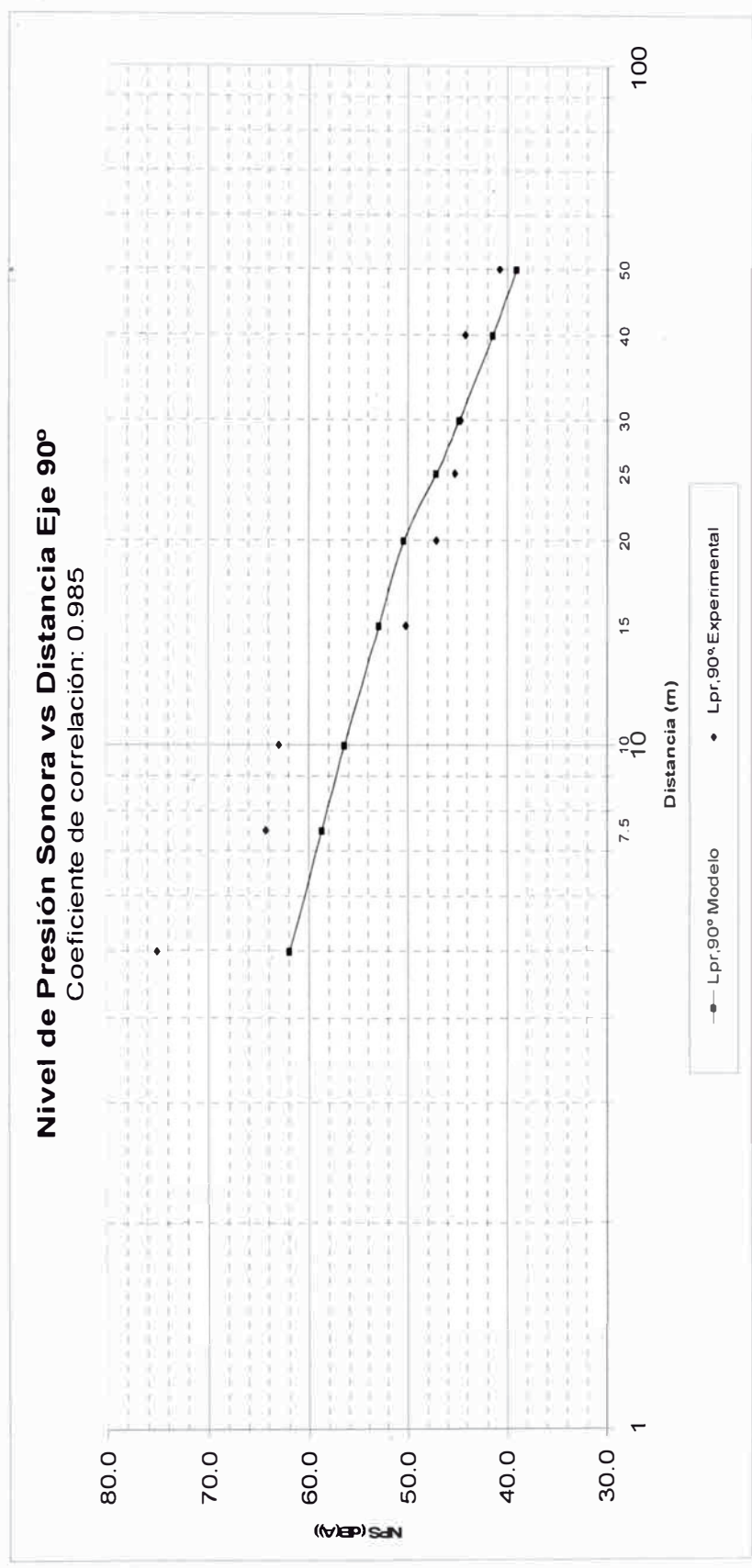


Ilustración 61 Gráfica que correlaciona los NPSA y los niveles de presión sonora estimados bajo el modelo para el ángulo de 135°.

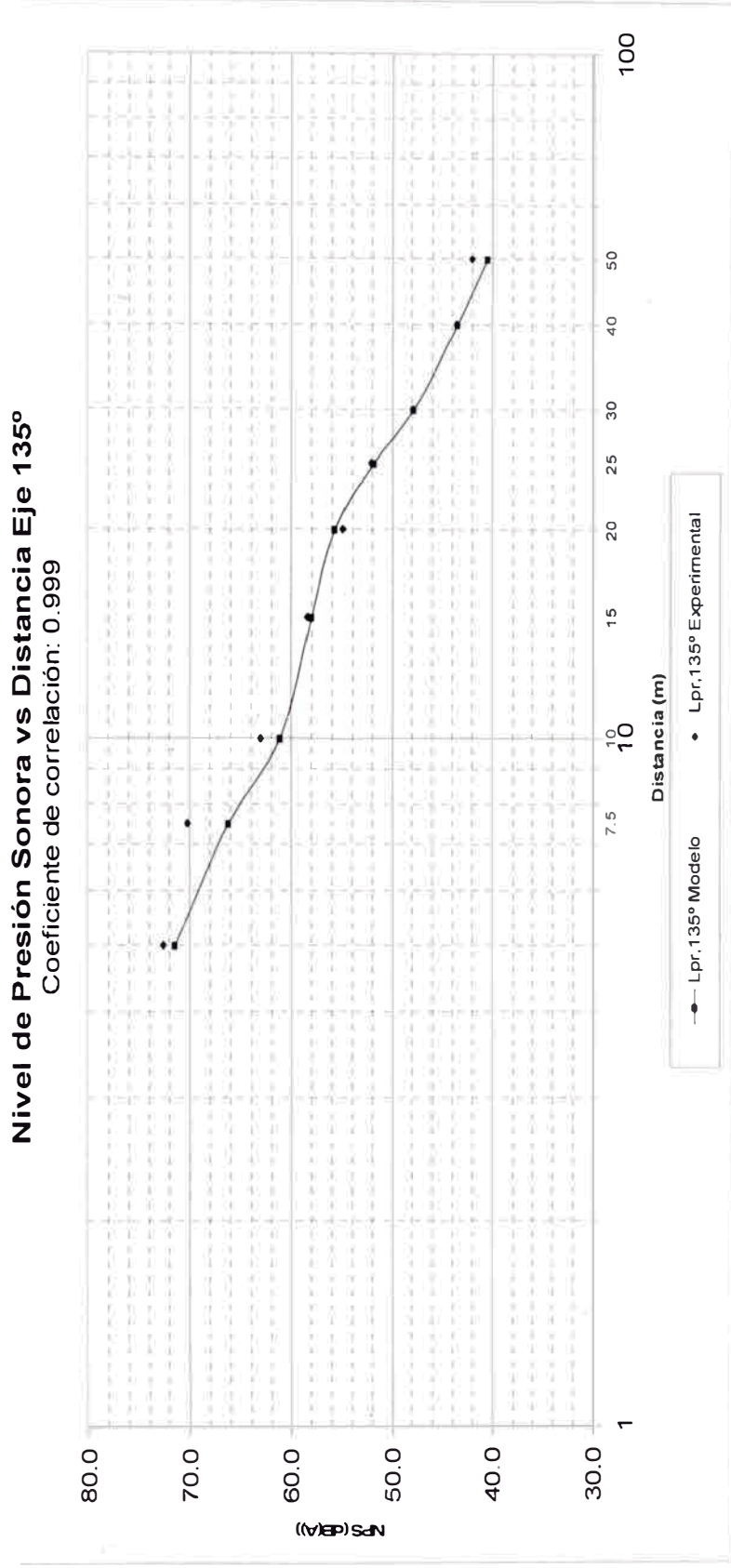


Ilustración 62 Gráfica que correlaciona los NPSA y los niveles de presión sonora estimados bajo el modelo para el ángulo de 180°.

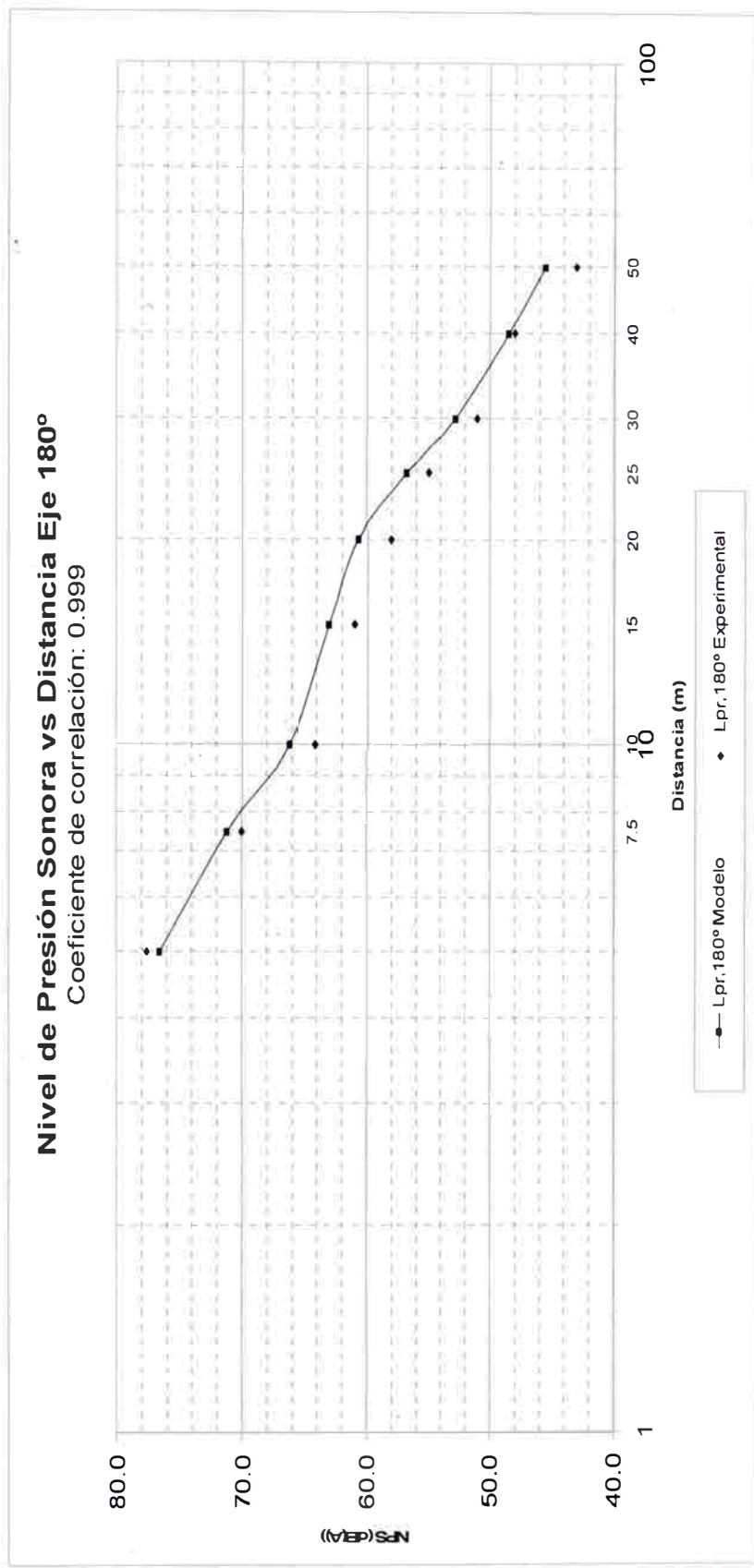




Ilustración 63 Gráfica que correlaciona los NPSA y los niveles de presión sonora estimados bajo el modelo para el ángulo de 225° :

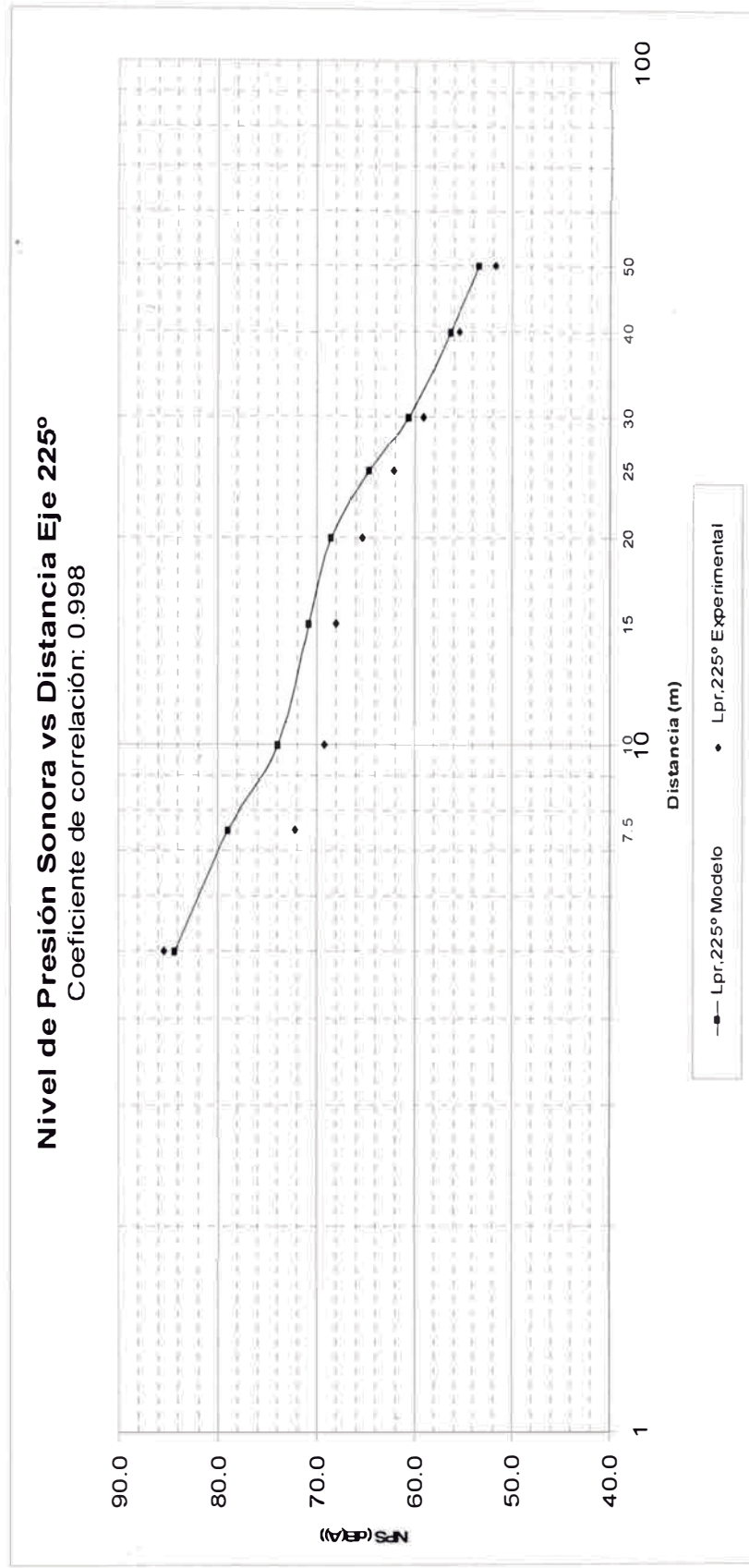


Ilustración 64 Gráfica que correlaciona los NPSA y los niveles de presión sonora estimados bajo el modelo para el ángulo de 270°.

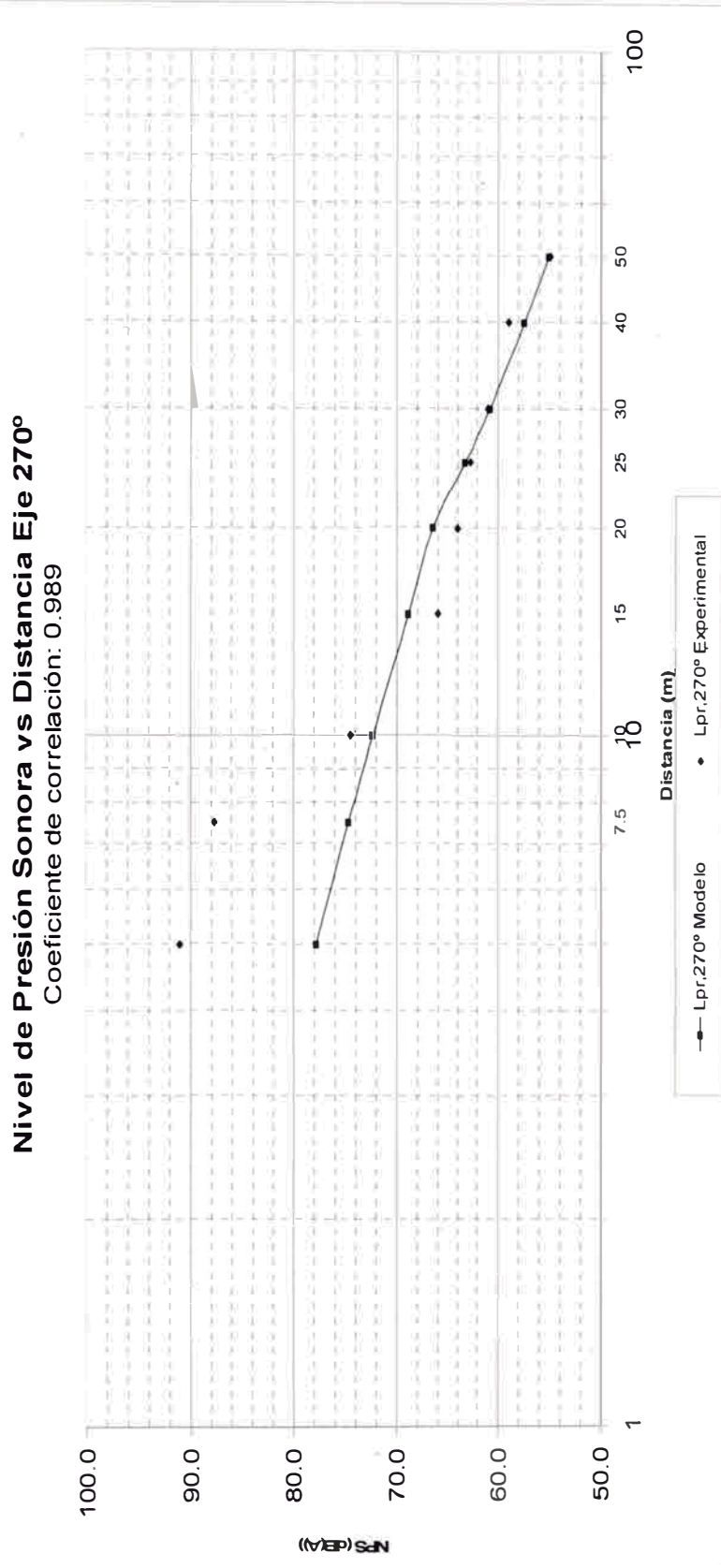


Ilustración 65 Gráfica que correlaciona los NPSA y los niveles de presión sonora estimados bajo el modelo para el ángulo de 292.5

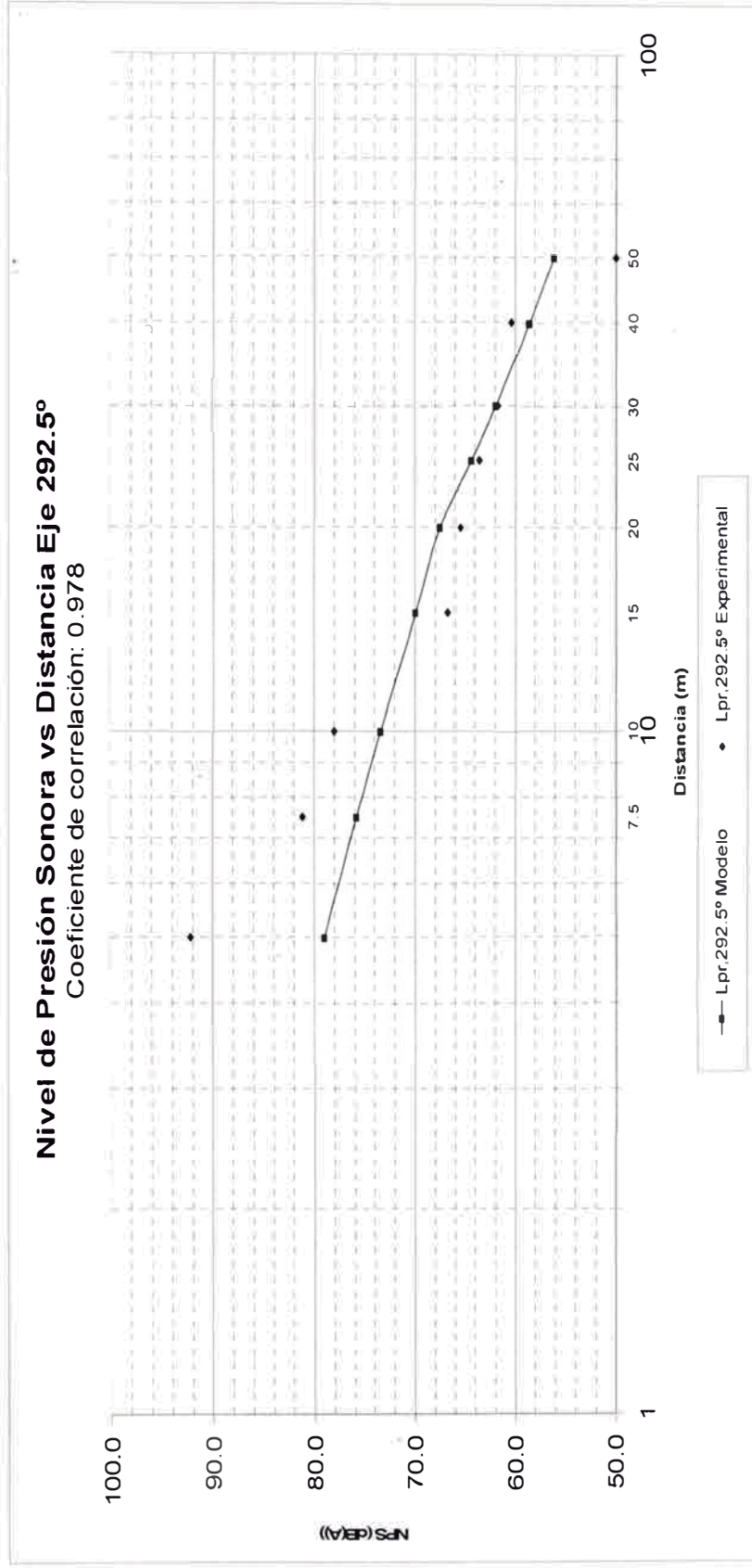
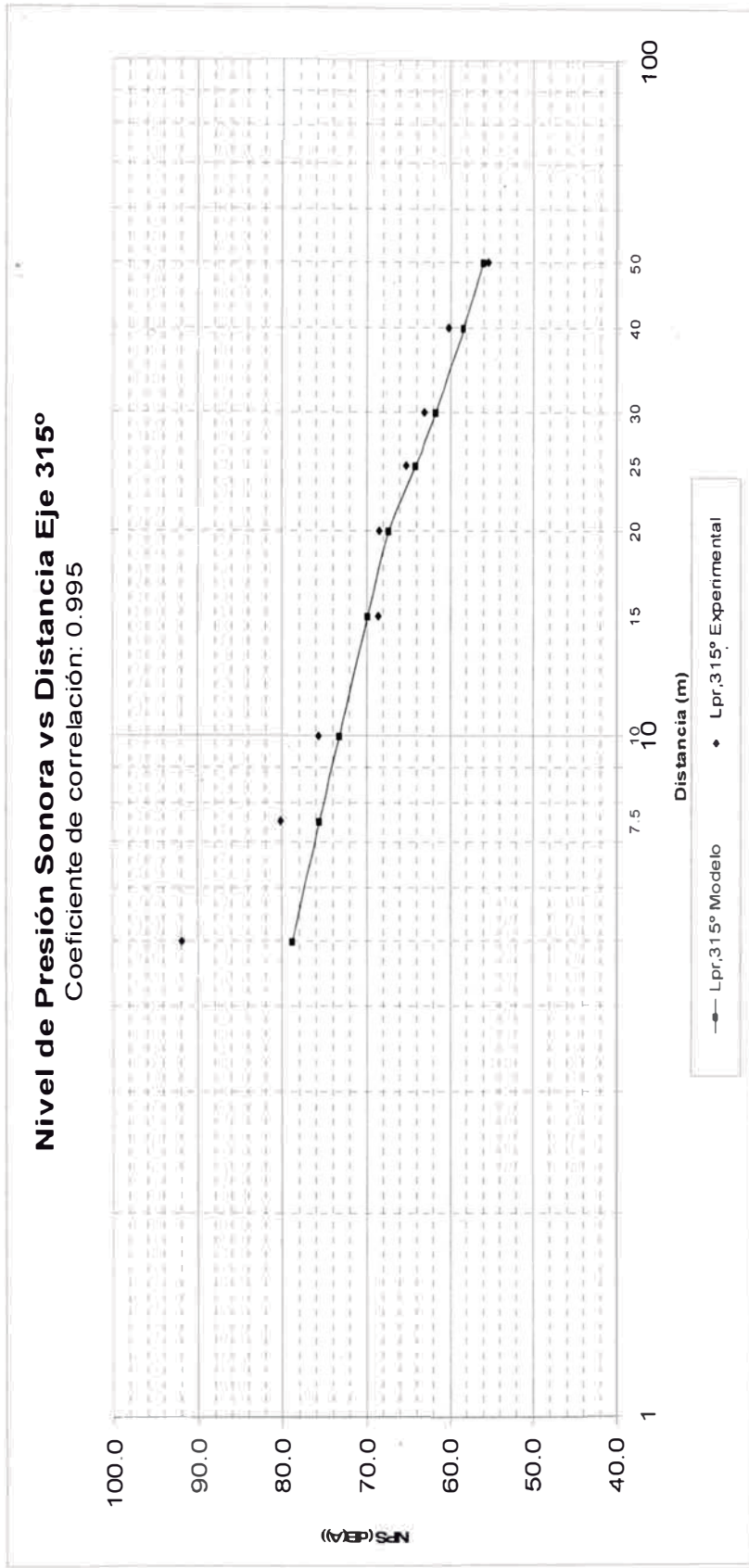


Ilustración 66 Gráfica que correlaciona los NPSA y los niveles de presión sonora estimados bajo el modelo para el ángulo de 315.



## 9. Discusión de resultados

El período de muestreo por tubos pasivos utilizados para la medición de ozono fue de 7 días, y los de dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre fueron de 14 días. El período de ponderación para estos contaminantes según los estándares de calidad ambiental del aire (ECAs) difiere de los períodos de muestreo (anual, 8 horas, etc), por lo que no se pueden comparar directamente contra los ECAs, véase Tabla N°25.

Por otro lado, es importante mencionar que la Estación Científica Machu Picchu (ECAMP), está ocupada por científicos peruanos y apoyo militar, cuya edad varía entre los 21 y 50 años, durante 3-4 semanas durante el verano austral. No viajan niños, ni adultos mayores al ECAMP. Además, antes de partir hacia la Antártida, cada uno de los integrantes de la expedición se somete a exámenes médicos, por lo que las personas susceptibles no podrían viajar.

Durante estas 3 a 4 semanas en el ECAMP, los científicos trabajan continuamente en sus investigaciones, mientras el apoyo militar realiza trabajos de reparación, expansión y acondicionamiento de la base. Bajo estas consideraciones, se ha optado por comparar los límites permisibles ocupacionales (TLV-TWA), con ponderación semanal con los resultados obtenidos para estimar el **nivel de riesgo a la salud humana** a la cual se encuentran los expedicionarios, Tablas N°26 (Ozono), N° 29 (Dióxido de Nitrógeno) y N°31 (Dióxido de Azufre)

Con relación a los resultados obtenidos en los muestreos de PM10, estos serán comparados con los valores establecidos en los ECAs nacionales para Calidad del Aire.

En cuanto a la comparación de resultados con las Guías de Calidad de Aire **para protección a la vegetación y ecosistemas desarrollados por la Organización Mundial de la salud (OMS)**, para cada uno de los gases

contaminantes, los mismos se encuentran en las Tablas N° 28 (Ozono), N° 30 (Dióxido de Nitrógeno) y N° 32 (Dióxido de Azufre).



### Ozono (O<sub>3</sub>)

Se observa en los datos obtenidos, que las concentraciones más elevadas de ozono se encuentran hacia el norte-noroeste de la Estación, que el Ozono (O<sub>3</sub>) se difunde hacia el norte-noroeste hacia la zona de descanso de los pingüinos, alcanzando concentraciones del orden de 90 a 100 µg/m<sup>3</sup> (0.04-0.05 ppm).

La distribución espacial de los datos, y las estimaciones obtenidas por el método de **kriging** (discutido en la sección 4.1.8, 'Estimación de distribución espacial de los contaminantes') y la dirección de los vientos, reflejan que posiblemente los niveles de concentración más elevados sean causa de la radiación solar directa, debido a la mayor cantidad de horas de sol, y a la radiación solar reflejada por los glaciares alrededor del ECAMP.

Además, como se mencionó en la sección 4.1.1. 'Reacciones en la atmósfera', el ozono es un contaminante secundario, es decir, se puede originar como consecuencia de otro contaminante, en este caso el dióxido de nitrógeno, quien se disocia en presencia de la luz. El dióxido de nitrógeno al disociarse, libera un átomo de oxígeno O, que reaccionará con el oxígeno molecular O<sub>2</sub> para formar ozono O<sub>3</sub>.

La concentración de dióxido de nitrógeno encontrada (0.01 – 0.02 ppm), tardaría entre 180 – 360 segundos en disociarse y formar ozono con el oxígeno molecular, además con la velocidad de viento media (1-2 m/s) dispararía las concentraciones de NO<sub>2</sub> por más de 300 metros, por lo que la generación del ozono a partir del dióxido de nitrógeno generado por la ECAMP sería muy lejano a la base, por lo que descartamos esta posibilidad.

Alternativamente, existe la posibilidad de que exista un intercambio entre la estratósfera y tropósfera, un fenómeno aún poco estudiado, por lo que se necesitarían mayores investigaciones.



Por estas consideraciones: dispersión espacial, lentitud de la formación de ozono a partir de  $\text{NO}_2$  generado en la ECAMP y posible intercambio troposférico, no se puede afirmar que la Estación Científica Antártica Machu Picchu sea la causa de la presencia de ozono en la cercanía a la ECAMP..

Como ya se ha mencionado antes, no es posible comparar directamente los resultados obtenidos con un periodo de medición de 7 días con los estándares y guías de calidad de aire para la protección a la salud establecidos para 1 hora, 4 horas u 8 horas. Por lo que se compara con el límite permisible del ozono en ambiente de trabajo según el Decreto Supremo 015-2005-SA, Tabla 26.

Tabla 26: Comparación de la concentración de ozono en el aire y el límite permisible del ozono en Ambiente de trabajo (DS 015-2005-SA)

OZONO $\text{O}_3$	RESULTADOS				TIPO DE TRABAJO	ECA D.S. 074-2001-PCM
	Concentración obtenida ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )					VALOR ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
PUNTO DE MUESTREO	1era muestra	2da muestra	3era muestra	Promedio		
Gaviotín	54.2	54.5	54.0	54.2	Ligero (Investigación sobre nido de gaviotines)	200
Módulo de Fuerza	91.1	87.4	102.6	93.7	Trabajo $\leq$ 2 horas (Módulo de Fuerza)	400
Radar	47.6	52.7	50.6	50.3	Trabajo $\leq$ 2 horas (Revisión de antenas)	400
Frente de Base	67.9	61.2	63.8	64.3	Moderado (Expansión de base)	160
Cocina	54.1	54.6	54.5	54.5	Trabajo $\leq$ 2 horas (Recojo de alimentos y disposición de desperdicios)	400

Dado que el uso de muestreadores pasivos tiene un significativo error, que se estima es del 10 al 15%, es necesario llevar un análisis estadístico de estos resultados, para verificar el cumplimiento con los límites permisibles. Estos cálculos se encuentran detallados en la Tabla 27.

Tabla 27: Análisis estadístico de los resultados de la evaluación de Ozono y el Valor Limite Permissible en Ambiente de Trabajo

OZONO O <sub>3</sub>	RESULTADOS AL 90% DE CONFIANZA, COEFICIENTE DE VARIACIÓN (CV <sub>T</sub> ) DE 0.15 (MUESTREADOR PASIVO)						CUMPLIMIENTO CON LA LÍMITE PERMISIBLE EN AMBIENTE DE TRABAJO (TLV-TWA) SEMANAL	
	PUNTO DE MUESTREO	Promedio (µg/m <sup>3</sup> ) $\bar{X}$	Límite permisible aplicable (µg/m <sup>3</sup> )	Cantidad de Muestras $n$	Promedio Normalizado $\bar{X}_{GCA} = \frac{\bar{X}}{TLV - TWA}$	Límite de Confianza Inferior $LCI = \bar{X}_{GCA} - \frac{1.645 \times CV_T}{n}$		Límite de Confianza Superior $LCS = \bar{X}_{GCA} + \frac{1.645 \times CV_T}{n}$
Gaviotin		54.2	200	3	0.27	0.19	0.46	LCI < 1 y LCS < 1, cumple
Módulo de Fuerza		93.7	400	3	0.23	0.15	0.38	LCI > 1 y LCS > 1, no cumple
Radar		50.3	400	3	0.13	0.05	0.18	LCI < 1 y LCS > 1, indecisión
Frente de Base		64.3	160	3	0.40	0.32	0.72	
Cocina		54.5	400	3	0.14	0.06	0.20	Cumple

Como se puede observar, el ratio del promedio en cada punto y el límite permisible (promedio normalizado) son inferiores al 50%, además el límite de confianza superior no sobrepasa el 75% del límite permisible, por lo que podemos asegurar con seguridad (al 90% de confianza) que las concentraciones encontradas no afectarán a la salud de los expedicionarios durante las 3 -4 semanas de exposición.

Tabla 28: Comparación de la concentración de ozono en el aire y las Guías de Calidad del Aire para la protección a la vegetación y ecosistemas de Reino Unido

OZONO O <sub>3</sub>	RESULTADOS				PERIODO	GCA, Julio 2007 Protección de vegetación y ecosistemas Reino Unido	Comentario
	Concentración obtenida ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )						
PUNTO DE MUESTREO	1era muestra	2da muestra	3ra muestra	Promedio		VALOR ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	
Gaviotín	54.2	54.5	54.0	54.2	3 meses	18, AT40 (80 – 96)	No sobrepasa la guía
Módulo de Fuerza	91.1	87.4	102.6	93.7	3 meses	18, AT40 (80 – 96)	Probable exposición riesgosa
Radar	47.6	52.7	50.6	50.3	3 meses	18, AT40 (80 – 96)	No sobrepasa la guía
Frente de Base	67.9	61.2	63.8	64.3	3 meses	18, AT40 (80 – 96)	No sobrepasa la guía
Cocina	54.1	54.6	54.5	54.5	3 meses	18, AT40 (80 – 96)	No sobrepasa la guía

Se puede observar que en la mayoría de los puntos de monitoreo, no se sobrepasa la guía, sin embargo, existen las tres muestras del módulo de fuerza que tienen un exceso de 11.1, 7.4 y 22.6 sobre 80  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  respectivamente. Esto nos da un promedio de 13.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , que es aproximadamente el 76% del valor guía para 3 meses. Dado que el nivel de concentración encontrado fue tomado en 3 semanas, es muy probable que se esté excediendo la guía de calidad de aire mencionada.

### Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>)

El promedio de los 3 niveles de concentración máximos encontrados en los muestreadores es de 39 µg/m<sup>3</sup> (0.0207ppm), encontrándose dentro de los márgenes de concentración global estimados. El Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>) se difunde hacia el sur-sudoeste.

Existe una mayor concentración cercana al generador eléctrico, confirmando que es la fuente principal de este gas. Con los valores obtenidos, se interpolaron los resultados bajo el método **kriging** (4.1.8, 'Estimación de distribución espacial de los contaminantes') y se obtuvieron las curvas isopletas, como se indica en el plano E-2.5. Los valores puntuales y la dirección del viento confirman esta distribución espacial. Bajo estas consideraciones, se estima que estas concentraciones del orden de 30 a 40 µg/m<sup>3</sup> de NO<sub>2</sub> en el aire se difundan a la zona de nidación de las Skúas, y sobre el área de crecimiento de líquenes.

Tabla 29: Comparación de la concentración de dióxido de nitrógeno en el aire y el límite permisible del dióxido de nitrógeno en Ambiente de trabajo (DS 015-2005-SA)

DÍOXIDO DE NITRÓGENO NO <sub>2</sub>	RESULTADOS				ECA D.S. 074-2001-PCM VALOR (µg/m <sup>3</sup> )
	Concentración obtenida (µg/m <sup>3</sup> )				
PUNTO DE MUESTREO	1era muestra	2da muestra	3era muestra	Promedio	
Gaviotín	0.8	1.3	1.5	1.2	5600
Módulo de Fuerza	3.9	4.5	3.4	4.0	5600
Radar	38.3	39.0	39.9	39.0	5600
Frente de Base	3.1	2.7	3.4	3.1	5600
Cocina	9.2	10.3	10.4	10.0	5600

Dado que los límites permisibles en ambiente de trabajo son tan altos en comparación con los resultados obtenidos (de 2 órdenes de magnitud), no es necesario llevar a cabo un análisis estadístico.

Tabla 30: Comparación de la concentración de dióxido de nitrógeno en el aire y las Guías de Calidad del Aire para la protección a la vegetación y ecosistemas de la OMS-Europa.

DIÓXIDO DE NITRÓGENO NO <sub>2</sub>	RESULTADOS				PERIODO	Guía de Calidad del Aire, 2000 OMS-Europa	Comentario
	Concentración obtenida (µg/m <sup>3</sup> )						
PUNTO DE MUESTREO	1era muestra	2da muestra	3ra muestra	Promedio		VALOR (µg/m <sup>3</sup> )	
Gaviotín	0.8	1.3	1.5	1.2	Anual	30	No sobrepasa la guía
Módulo de Fuerza	3.9	4.5	3.4	4.0	Anual	30	No sobrepasa la guía
Radar	38.3	39.0	39.9	39.0	Anual	30	Sobrepasa la guía
Frente de Base	3.1	2.7	3.4	3.1	Anual	30	No sobrepasa la guía
Cocina	9.2	10.3	10.4	10.0	Anual	30	No sobrepasa la guía

Pese a que no se puede afirmar cuantitativamente los efectos del NO<sub>2</sub> sobre los líquenes en general, tal como se discutió en el apartado 4.1.3.2 'Efectos sobre los líquenes', las concentraciones probables de NO<sub>2</sub> que se encuentran en las regiones de líquenes, podrían generar una disminución en su población, ya que existe una abundante variedad de especies; de las cuales ciertas especies son resistentes o sensibles, y no se puede estimar el límite permisible para las especies antárticas. El resultado en las tres muestras del punto radar es consistente, por lo que podríamos indicar que se sobrepasa la guía de un año en tan solo 3 semanas. Además, aún sabiendo que el nivel natural de NO<sub>2</sub> en el ambiente suele ser de 40 µg/m<sup>3</sup>, las muestras tomadas en los puntos gaviotín, módulo de fuerza, frente de base y cocina, están varias unidades por debajo de este nivel natural, por lo que el nivel de fondo no sobrepasará de 10 µg/m<sup>3</sup>. Bajo estas consideraciones, es muy probable que el ECAMP sea la causa de este nivel alto en el punto Radar.

### Dióxido de Azufre

El promedio de los 3 niveles de concentración máximos encontrados en los muestreadores es de 5.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (0.0021ppm), obteniéndose valores muy por debajo de los límites permisibles del Perú, de Estados Unidos, y de la Organización Mundial de la Salud (OMS).

El Dióxido de Azufre ( $\text{SO}_2$ ) se difunde hacia el sur-sudoeste. Existe una mayor concentración cercana al generador eléctrico, confirmando que es la fuente principal de este gas.

Con el método de **kriging**, y por la dirección de los vientos, se estima que estas concentraciones del orden de 2.5 a 3.3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{SO}_2$  en el aire se difundan a la zona de nidación de las aves Skúas, y sobre el área de crecimiento de líquenes.

Tabla 31: Comparación de la concentración de dióxido de azufre en el aire y el límite permisible del dióxido de nitrógeno en Ambiente de trabajo (DS 015-2005-SA)

DÍOXIDO DE AZUFRE $\text{SO}_2$	RESULTADOS				ECA D.S. 074-2001-PCM
	Concentración obtenida ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )				
PUNTO DE MUESTREO	1era muestra	2da muestra	3era muestra	Promedio	VALOR ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Gaviotín	2.2	5.0	0.7	2.7	5200
Módulo de Fuerza	2.5	1.2	n.d.	2.2	5200
Radar	3.9	4.3	3.0	3.7	5200
Frente de Base	1.5	2.3	5.4	3.0	5200
Cocina	0.8	n.d.	6.1	3.5	5200

n.d: No determinado, concentración por debajo del límite de detección

Dado que los límites permisibles en ambiente de trabajo son tan altos en comparación con los resultados obtenidos (de 2 órdenes de magnitud), no es necesario llevar a cabo un análisis estadístico.

Tabla 32: Comparación de la concentración de dióxido de azufre en el aire y las Guías de Calidad del Aire para la protección a la vegetación y ecosistemas de la OMS-Europa.

DIÓXIDO DE AZUFRE SO <sub>2</sub>	RESULTADOS				PERIODO	Guía de Calidad del Aire, 2000 OMS-Europa	Comentario
	Concentración obtenida (µg/m <sup>3</sup> )						
PUNTO DE MUESTREO	1era muestra	2da muestra	3ra muestra	Promedio		VALOR (µg/m <sup>3</sup> )	
Gaviotín	2.2	5.0	0.7	2.7	Anual	10 (Liquenes)	No sobrepasa la guía
Módulo de Fuerza	2.5	1.2	n.d.	2.2	Anual	10 (Liquenes)	No sobrepasa la guía
Radar	3.9	4.3	3.0	3.7	Anual	10 (Liquenes)	No sobrepasa la guía
Frente de Base	1.5	2.3	5.4	3.0	Anual	10 (Liquenes)	No sobrepasa la guía
Cocina	0.8	n.d.	6.1	3.5	Anual	10 (Liquenes)	No sobrepasa la guía

De la misma manera con el dióxido de nitrógeno, no podemos afirmar cual es el grado de daño sobre las especies de líquenes antárticos; sin embargo esta guía de la OMS protege a una de las especies más sensibles europeas. También podemos observar que todas las muestras están varias unidades por debajo de la guía, con lo que se podría afirmar que no podrían ocurrir efectos adversos por contaminación de dióxido de azufre.

Material Particulado menor a 10 micrómetros

Los niveles encontrados de material particulado son de un orden inferior a los límites permisibles de 24 horas del Perú (200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), de Estados Unidos (150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), y considerablemente bajos comparados al de la Organización Mundial de la Salud (50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), como se puede observar en la Tabla 33.

Además, se llevó a cabo un análisis estadístico de estos resultados utilizando la Guía de Calidad de Aire para PM-10 para el período de 24 horas como referencia, comprobándose el cumplimiento con esta guía, Tabla 34.

**Tabla 33: Comparación entre los resultados de la evaluación de PM-10 y el Estándares de Calidad de Aire del Perú, de Estados Unidos y la Guía de Calidad del Aire de la OMS-Europa**

MATERIAL PARTICULADO CON DIÁMETRO MENOR A 10 MICRÓMETROS	RESULTADOS			PERIODO	ECA D.S. 074-2001-PCM VALOR ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	NAAQS, 2008 40 CFR parte 50 VALOR ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	OMS, 2005 Directrices VALOR ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
	Concentración obtenida ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )						
PUNTO DE MUESTREO	1era muestra	2da muestra	3era muestra	Promedio			
Gaviotín	14	6	---	10	200	150	50
Módulo de Fuerza	15	11	<6	<11	200	150	50
Radár	7	<6	---	<6	200	150	50
Frente de Base	<6	---	----	<6	200	150	50
Cocina	17	---	---	17	200	150	50

Nota: No fue posible tomar todos los datos planeados por las condiciones climáticas.



Tabla 34: Análisis estadístico de los resultados de la evaluación de PM-10 y la Guía de Calidad del Aire de la OMS-Europa

GUÍA DE LA CALIDAD DE AIRE (GCA) DE LA OMS-Europa = 50 µg/m³	RESULTADOS AL 90% DE CONFIANZA, COEFICIENTE DE VARIACIÓN (Cv <sub>T</sub> ) DE 0.05 (GRAVIMETRÍA)					CUMPLIMIENTO CON LA GCA
	Promedio (µg/m³) $\bar{X}$	Cantidad de Muestras $n$	Promedio Normalizado $\bar{X}_{GCA} = \frac{\bar{X}}{GCA}$	Limite de Confianza Inferior $LCI = \bar{X}_{GCA} - \frac{1.645 \times C_{vT}}{n}$	Limite de Confianza Superior $LCS = \bar{X}_{GCA} + \frac{1.645 \times C_{vT}}{n}$	
Gaviotín	10	2	0.20	0.16	0.24	
Módulo de Fuerza	<11	3	<0.22	<0.19	<0.25	
Radar	<6	2	<0.12	<0.08	<0.16	
Frente de Base	<6	1	<0.12	<0.04	<0.20	Cumple
Cocina	17	1	<0.34	<0.26	<0.42	Cumple

Como se puede observar, los niveles de PM-10 encontrados están muy por debajo del límite permisible, y el límite de confianza superior no supera el 25% al 90% de confianza, por lo que podemos afirmar con seguridad que no existe exposición riesgosa al material particulado menor a 10 micrómetros debido a la generación de polvo por la base. Además, es muy probable que sea la acción del viento la generadora del poco polvo encontrado.

## Ruido Ambiental

Como se puede observar en las ilustraciones del 43 al 50, en el plano E-5.5 y la tabla 17, los niveles de ruido que alcanzan a los receptores del ruido (aves), están en el rango de 50 dBA a 55 dBA, siendo el ruido de fondo de 38 dBA. El espectro acústico indica que el ruido es medio, siendo muy probable que interfiera con los mecanismos de comunicación y supervivencia de las aves. Además, se sobrepasa los niveles ECA de zonas especiales.

Los resultados concuerdan con el modelo ISO generado a partir de la fuente del generador, por lo que si podemos afirmar que es la única fuente de ruido.

**Tabla 35: Comparación entre los resultados de la evaluación de ruido sobre los receptores y valores permisibles más importantes**

CONTAMINANTE	RECEPTOR	RESULTADO	PERIODO	ECA - RUIDO D.S. 085-2003-PCM	EPA Criterios	OMS, 1993 (*)
Ruido Ambiental	Humanos (Expedicionarios Peruanos)	Entre 50 y 55 dBA	Día	50 dBA	55 dBA	55 dBA
			Noche	40 dBA	45 dBA	45 dBA
Ruido Ambiental	Nido de Skuas	Entre 50 y 55 dBA	Día	50 dBA	55 dBA	55 dBA
			Noche	40 dBA	45 dBA	45 dBA
Ruido Ambiental	Pingüinos	Entre 38 y 55 dBA	Día	50 dBA	55 dBA	55 dBA
			Noche	40 dBA	45 dBA	45 dBA
Ruido Ambiental	Nido de Gaviotines	Menor a 38 dBA	Día	50 dBA	55 dBA	55 dBA
			Noche	40 dBA	45 dBA	45 dBA

(\*) Estos valores referenciales se han tomado de los Valores Guía de la Organización Mundial de la Salud para el ruido en la comunidad, 1993; para áreas al aire libre, durante el día y la noche.

## 10. Conclusiones

### 10.1. Ozono (O<sub>3</sub>)

Los niveles de concentración de ozono encontrados en la Estación Científica Antártica Machu Picchu (ECAMP) no afectan ni ponen en riesgo la salud de los expedicionarios, investigadores y apoyo logístico (militar).

Por otro lado, las muestras tomadas cerca al módulo de fuerza indican que las concentraciones de ozono ambiental encontradas pueden afectar de manera adversa a los líquenes antárticos de la zona.

Sin embargo, es muy probable que este contaminante no sea generado por la ECAMP, si no por fenómenos naturales de radiación solar y transferencia entre tropósfera y estratósfera, debido a la distribución espacial del contaminante, lentitud de formación del contaminante, y dirección de los vientos.

### 10.2. Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>)

Los niveles de concentración encontrados de dióxido de nitrógeno en la ECAMP no afectarán la salud de los expedicionarios.

En cuanto a la protección de los ecosistemas, es muy probable que existan efectos adversos sobre los líquenes, dada las concentraciones encontradas en el punto Radar, que sobrepasan el límite permisible, y que además son concentraciones significativamente mucho mayores que los otros puntos monitoreados. Debido a esto, se concluye que el ECAMP puede estar generando niveles de dióxido de nitrógeno que sean perjudiciales a los líquenes de la zona.

### 10.3. Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)

Se concluye, en base a los resultados encontrados y contrastados con las guías respectivas, que no pelagra la salud de los expedicionarios y la conservación de los ecosistemas por dióxido de azufre.

#### 10.4. Material Particulado con diámetro aerodinámico menor a 10 micrómetros

Los valores de PM-10 se encuentran entre 6 y 17  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , una orden inferior a los límites permisibles de 24 horas del Perú (200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), y de Estados Unidos (150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), y considerablemente bajos comparados al de la OMS (50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Estos niveles de concentración son tan bajos, que no representa un riesgo para la salud humana, ni para los ecosistemas.

Se concluye que el ECAMP no genera contaminación de PM-10.

#### 10.5. Ruido Ambiental

Por lo expuesto en la discusión de resultados, y el modelo de propagación y el mapeo del ruido según plano E-5.5, se concluye que si existe contaminación por ruido generado por el ECAMP.

## 11. Recomendaciones

### Condiciones climáticas:

La presencia permanente de fuertes vientos y en direcciones diferentes y opuestas impiden que el monitoreo de ruido se realice en lapsos continuos más largos. Asimismo, estos también afectan al monitoreo de material particulado y gases porque permiten que los contaminantes se dispersen con mayor facilidad y en mayor variedad de direcciones no consideradas para la selección de puntos de monitoreo.

### Condiciones operativas:

Las actividades de campo también se vieron reducidas por las condiciones climáticas, viento, frío y llovizna, que dificultaron las operaciones y evitaron realizar más estudios para no poner en peligro los equipos.

El estudio solo pudo realizarse a un generador de los tres que usa la base, debido a limitado tiempo y uso de sólo un sonómetro. Se recomienda utilizar dos a más sonómetros simultáneamente para un próximo estudio.

### Contaminación por ozono, dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre:

Se recomienda hacer mayores estudios sobre la generación del ozono por fenómenos naturales, tales como la radiación solar directa y difusa y su influencia en la generación de ozono, y el intercambio de gases de la estratósfera con la tropósfera.

También se recomienda monitorear la concentración de ozono en lugares más distantes a la Estación Científica Antártica Machu Picchu.

En cuanto al dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre, se recomienda tomar una cantidad mayor de muestras adicionales alrededor del ECAMP.

Finalmente, se recomienda estudiar los efectos del ozono, dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre sobre los líquenes antárticos, y los huevos de los gaviotines y skúas.

Contaminación por ruido:

En primer lugar, debe procurarse utilizar el generador más moderno y silencioso de los tres al momento de llegar, y reemplazar las piezas gastadas de los generadores más antiguos con el fin de eliminar vibraciones y ruidos innecesarios.

Las paredes internas del módulo de fuerza cercanas al generador, deben revestirse con un material acústico, pudiendo ser espuma acústica, lana mineral o lana de fibra de vidrio.

El tubo de escape que sale del interior hacia el exterior del módulo de fuerza, debe revestirse en material flexible para disminuir las vibraciones y golpes contra la pared metálica del módulo.

Construir y ubicar una pared alta, cercana a la descarga del tubo de escape, de manera que actúe de barrera, dejando que el ruido y los gases de combustión escapen de manera vertical. Esta pared puede ser de madera sólida de 50mm de espesor, y revestida con material acústico sobre la superficie expuesta al ruido.

## 12. Fuentes de Información

- 1) Scientific Committee on Antarctic Research, pagina web oficial: [www.scar.org](http://www.scar.org), ingresado el 26 de Octubre del 2008
- 2) Lewis, A.C., Kupiszewska, D., Bartle, K.D., Pilling, M.J., 1995. 'City centre concentrations of polycyclic aromatic hydrocarbons using supercritical fluid extraction' *Atmospheric Environment*, 29, 1531-1542.
- 3) Bower, J.S., Lampert, J.E., Stevenson, K.J., Atkins, D.H.F., Law, D.V., 1991. A diffusion tube survey of NO<sub>2</sub> levels in urban areas of the UK. *Atmospheric Environment*, 25B, 255-265.
- 4) Marianne Glasius, Morten Funch Carlsen, Torben Stroyer Hansen, and Christian Lohse (1997) 'Measurements of nitrogen dioxide on Funen using diffusion tubes' *Atmospheric Environment*, 33 (1999)
- 5) Stern, Arthur C., *Air Pollution*, Academic Press, Londres, Reino Unido, Segunda Edición, 1968
- 6) L.E. Miller, *J. Air Pollution Control Assoc.* 8, 138 (1958).
- 7) James R. Newman, 'Effects of industrial air pollution on wildlife'. *Biological Conservation*, Volume 15, Issue 3, Abril 1979, Pages 181-190
- 8) Agency for Toxic Substances & Disease Registry – Department of Human Services 'Toxicological Profile for Sulfur Dioxide' Diciembre, 1998.
- 9) Graham J.A. Overton J., Costa D.L. 'Toxicology of ozone as characterized by laboratory animals and extrapolated to humans'. *Studies in environmental science*, Elsevier, Amsterdam, 1978.
- 10) H. F. van Dobben, H. Th. Wolterbeek, G. W. W. Wamelink, C. J. F. Ter Braak 'Relationship between epiphytic lichens, trace elements and gaseous atmospheric pollutants' *Environmental Pollution*, Volumen 112, Número 2, Abril 2001, pp. 163-169
- 11) H. F. van Dobben, C. J. F. Ter Braak. 'Ranking of Epiphytic lichen sensitivity to air pollution using survey data: A comparison of indicator scales', *The Lichenologist*, Volumen 31, Número 1, Enero 1999, pp. 27-39
- 12) S. Gombert, J. Asta, M.R.D. Seaward 'Lichens and tobacco plants as complementary biomonitors of air pollution in the Grenoble area (Ise`re, southeast France)' *Ecological Indicators*, 6, (2006) 429–443

- 13) Christoph von Arb, Christine Mueller, Klaus Ammann, Christian Brunold. 'Lichen physiology and air pollution - II. Statistical analysis of the correlation between SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, NO and O<sub>3</sub>, and chlorophyll content, net photosynthesis, sulphate uptake and protein synthesis of *Parmelia sulcata* Taylor' *New Phytologist*, Volumen 115 Número 3, pp. 431 - 437
- 14) American Industrial Hygiene Association, *Air Pollution Manual*, 1967, 3er ed. pp.68
- 15) Corinna et al, 1996. The uptake of gaseous sulphur dioxide in non-gelatinous lichens, *New Phytol* 1997, 135, 595-602
- 16) Purvis O.W., *Environmental Pollution* 146 (2007)
- 17) *The bryologist, Journal of the American Bryological and Lichenological Society* , Volumen 76, Número 3, 1973.
- 18) Lorene L. Sigal, J. William Johnston Jr. 'Effects of acidic rain and ozone on nitrogen fixation and photosynthesis in the lichen *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm.' *Environmental and Experimental Botany*, Volumen 26, Número1, Enero 1986, pp. 59-64
- 19) Berlin, A., Brown, R.H. and Saunders, K.J. (1987) 'Diffusive Sampling, an Alternative Approach to Workplace Air Monitoring' ed. A., EC Publication No. 10555 EN, EC, Brussels, Luxembourg.
- 20) Palmes, E. D., Gunnison, A. F., DiMATTIO, J. and Tomczyk, C. (1976) 'Personal sampler for nitrogen dioxide', *American Industrial Hygiene Association Journal*, 37:10, 570 — 577
- 21) International Union of Pure and Applied Chemistry, Applied Chemistry Division Commission on Atmospheric Chemistry. 'The use of diffusive samplers for monitoring of ambient air (Technical Report)', *Pure&Appl. Chern.*, Vol. 65, No. 8, pp. 1859-1874, 1993. Reino Unido, 1993.
- 22) Rose, Vernon E. and Perkins, Jimmy L. (1982) 'Passive dosimetry—state of the art review', *American Industrial Hygiene Association Journal*, 43:8, 605 — 621
- 23) E.D Palmes, A.F. Gunnison, J. DiMattio, C. Tomczyk. ' Personal sampler for nitrogen dioxide' Institute of Environmental Medicine, New York University Medical Center, 550 First Avenue, New York, EE.UU.



- 24) E.D. Palmes, A.F. Gunnison, J. DiMattio, C. Tomczyk. 'Personal sampler for nitrogen dioxide' (1976) 'Personal sampler for nitrogen dioxide', American Industrial Hygiene Association Journal, 37:10, 570 — 577
- 25) Levaggi, D.A., W. Siu and M. Feldstein., 'A New Method for Measuring Average 24-Hour Nitrogen Dioxide Concentrations in the Atmosphere'. J. Air Pollut. Control Assoc. 23:30 (1973)
- 26) Blacker, J.H.: Triethanolamine for Collecting Nitrogen Dioxide in the TLV Range. American Industrial Hygiene Association Journal, 34:390 (1973).
- 27) T.R. Hausser, D. W. Bradley, "Specific spectrophotometric determination of ozone in the atmosphere using 1,2,-di-(4-pyridyl)-ethylene," Anal. Chem. 38:1529 (1966).
- 28) D.B. Orr, J.C. Hipfner, W.H. Chan, M.A. Lusic, J.E. Hunt, 'The application of a passive permeation device for the measurement of ambient sulfur dioxide'. Atmospheric Environment (1967), Volumen 21, Número 6, 1967, pp. 1473-1475
- 29) Gilbert Richard O. 'Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring' John Wiley and Sons, 1987, pp. 102, 103
- 30) Stern, Arthur C., Air Pollution, Academic Press, Londres, Reino Unido, Segunda Edición, 1968
- 31) Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente
- 32) Cheryl Tillman, 'Principles of Occupational Health and Hygiene', Australian Institute of Occupational Hygienists, 2008.
- 33) Lorenzo Gracia, Javier, Curso de Higiene Industrial – Evaluación de Agentes Químicos, MAZ
- 34) Alton Everest F., The Master Handbook of Acoustics, Cuarta Edición. McGraw-Hill, 2001. p.1
- 35) Seto, William W., Teoría y Problemas de Acústica, Primera Edición, McGraw-Hill Inc. EE.UU., 1973. pp. 40
- 36) Meisser, Mathis. 'Acústica de los Edificios', Editores Técnicos Asociados, Barcelona, España, 1973.
- 37) Smith B.J., Peters R.J., Owen S., Acoustics and Noise Control, Longman, Londres, 1982. p.66.

- 38) Organización Internacional de Estandarización, ISO 9613-2 "Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors Part 2: General Method of Calculation", Suiza, 1996
- 39) Seto, William W., Teoría y Problemas de Acústica, Primera Edición, McGraw-Hill Inc, EE.UU., 1973. p. 67.
- 40) Organización Internacional de Estandarización, ISO 1996-1 "Acoustics – Description, measurement and assessment of environmental noise", Suiza, 2003. p.iv
- 41) Seto, William W., Teoría y Problemas de Acústica, Primera Edición, McGraw-Hill Inc. EE.UU., 1973. p. 67.
- 42) M. Gridi-Pappa and P.M. Narinsa, Sensory Ecology of Hearing, University of California, Los Angeles, CA, EE.UU., Ingresado el 20 Diciembre 2007.

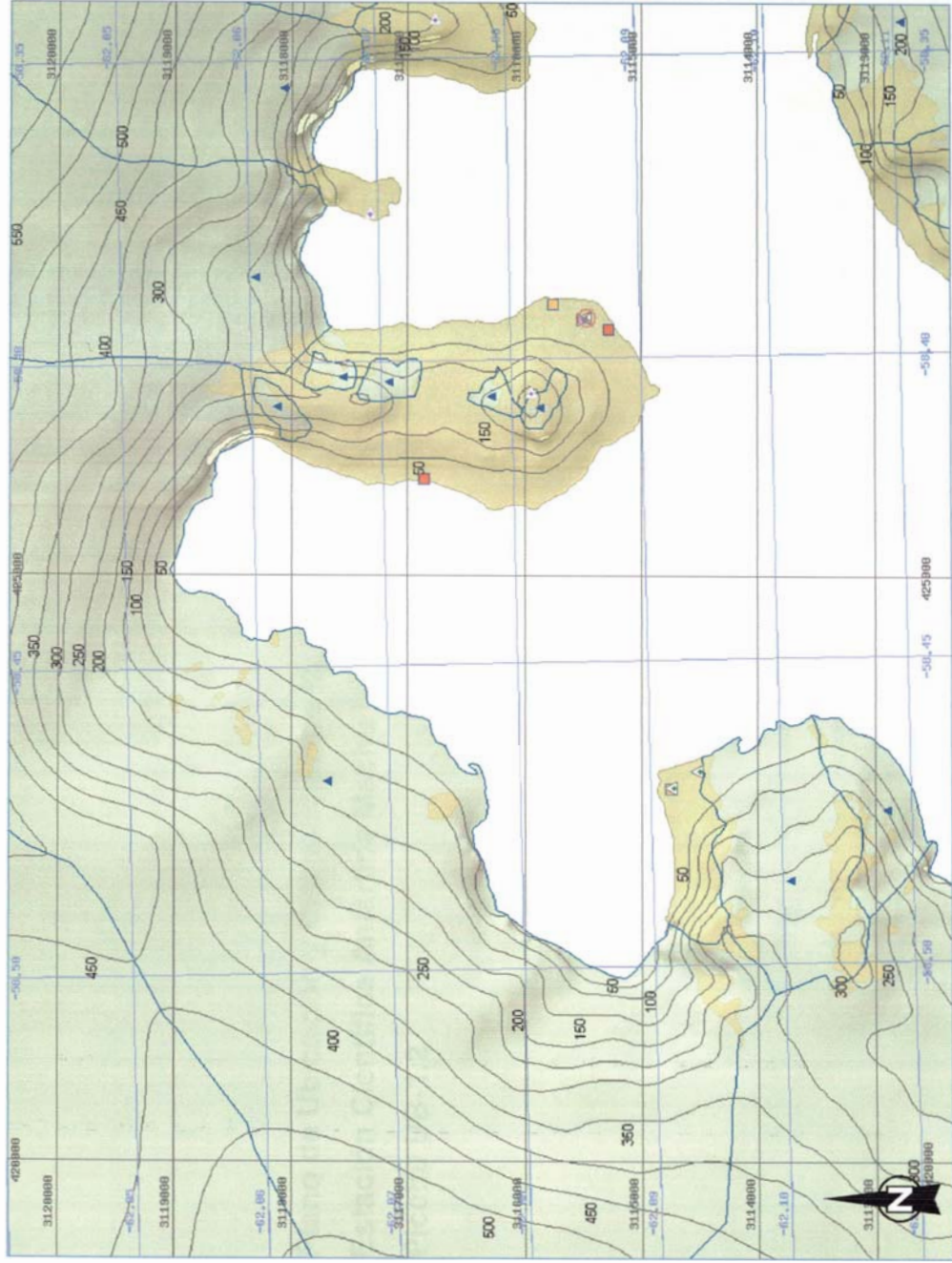
### 13. Apéndices

**APÉNDICE 1: Carta topográfica de la Isla del Rey  
Jorge, Insitut für Physische  
Geographie, Universität Freiburg,  
Alemania – Laboratório de Pesquisas  
Antárticas e Glaciológicas  
Universidade Federal do Rio Grande  
do Sul, Brasil, Noviembre 2001.**



**APÉNDICE 2: Plano Autogenerado de la Ensenada MacKellar, por el motor del proyecto “King George Island” del Comité Científico para la Investigación Antártica, SCAR, generado en Septiembre 2008.**

# KGIS King George Island GIS Project



**Legend**

Relief (contour)  
 \ / 50m Contour Lines

Geodetic Control

- ARG
- BRA
- CHL
- CHN
- GBR
- KOR
- PER
- POL
- URU

Control Point GPS  
 Control Point Trigonometric  
 Control Point Geodetic Satellite  
 SCAR Epoch Station  
 ITRF2000 Station

Rivers and Creeks  
 \ / Rivers and Creeks

Ice-free Areas  
 Ice-free

Glaciers (GLIMS)  
 Glacier (GLIMS)  
 Glacier catchments

Station Facilities  
 Station  
 Refuge

projection: UTM Zone Z21S  
 horizontal date: WGS 84  
 vertical date: mean sea level

coordinate systems  
 UTM Zone Z21S  
 lat/lon (dec)

source: <http://www.kgis.scar.org/>  
 © SCAR IPG Universität Freiburg 19.9.2008

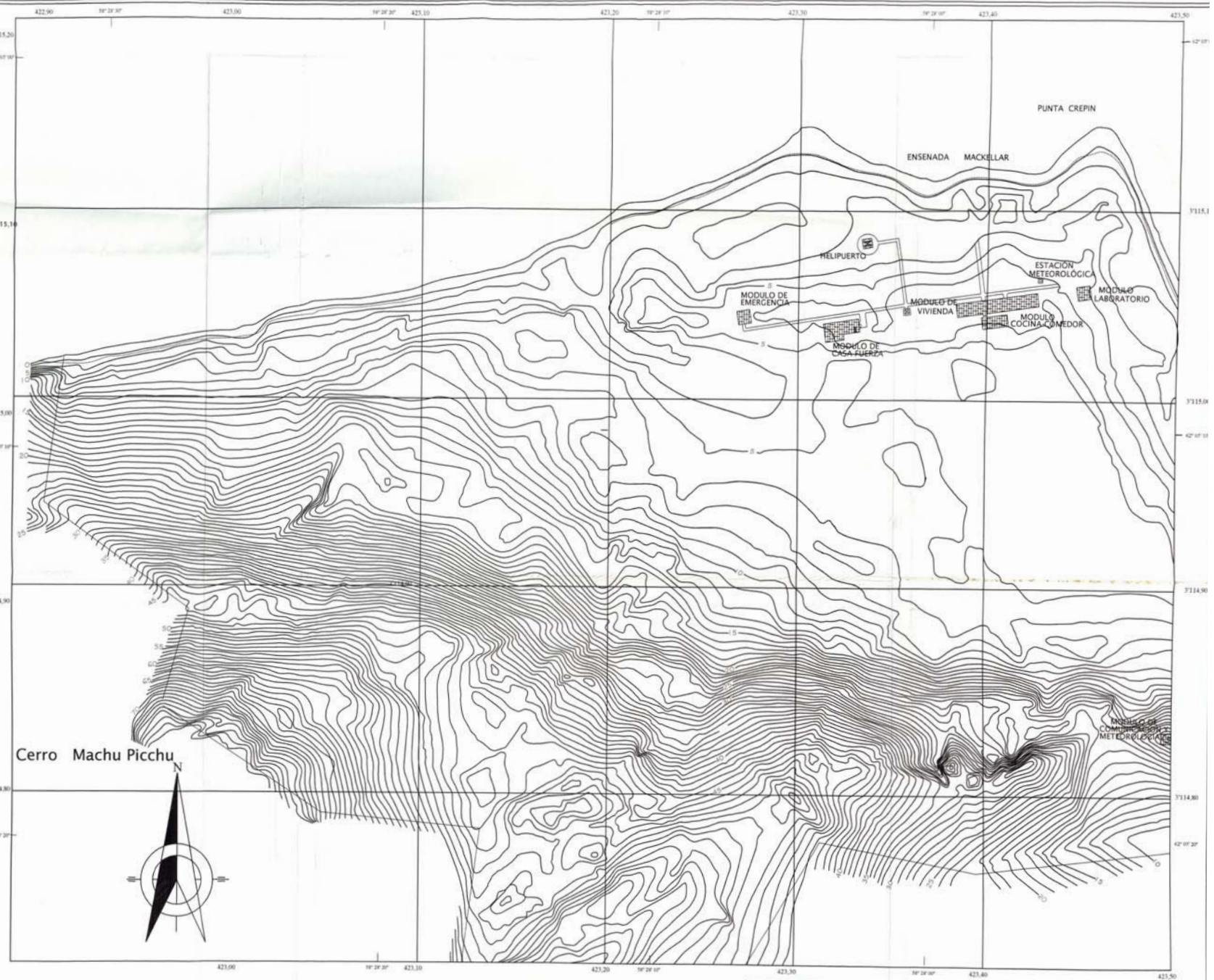
0 0.4 0.8 1.2 1.6 km

**APÉNDICE 3:      Plano de Ubicación y Distribución de la  
Estación Científica Antártica Machu  
Picchu UB-1.2**

# UBICACION



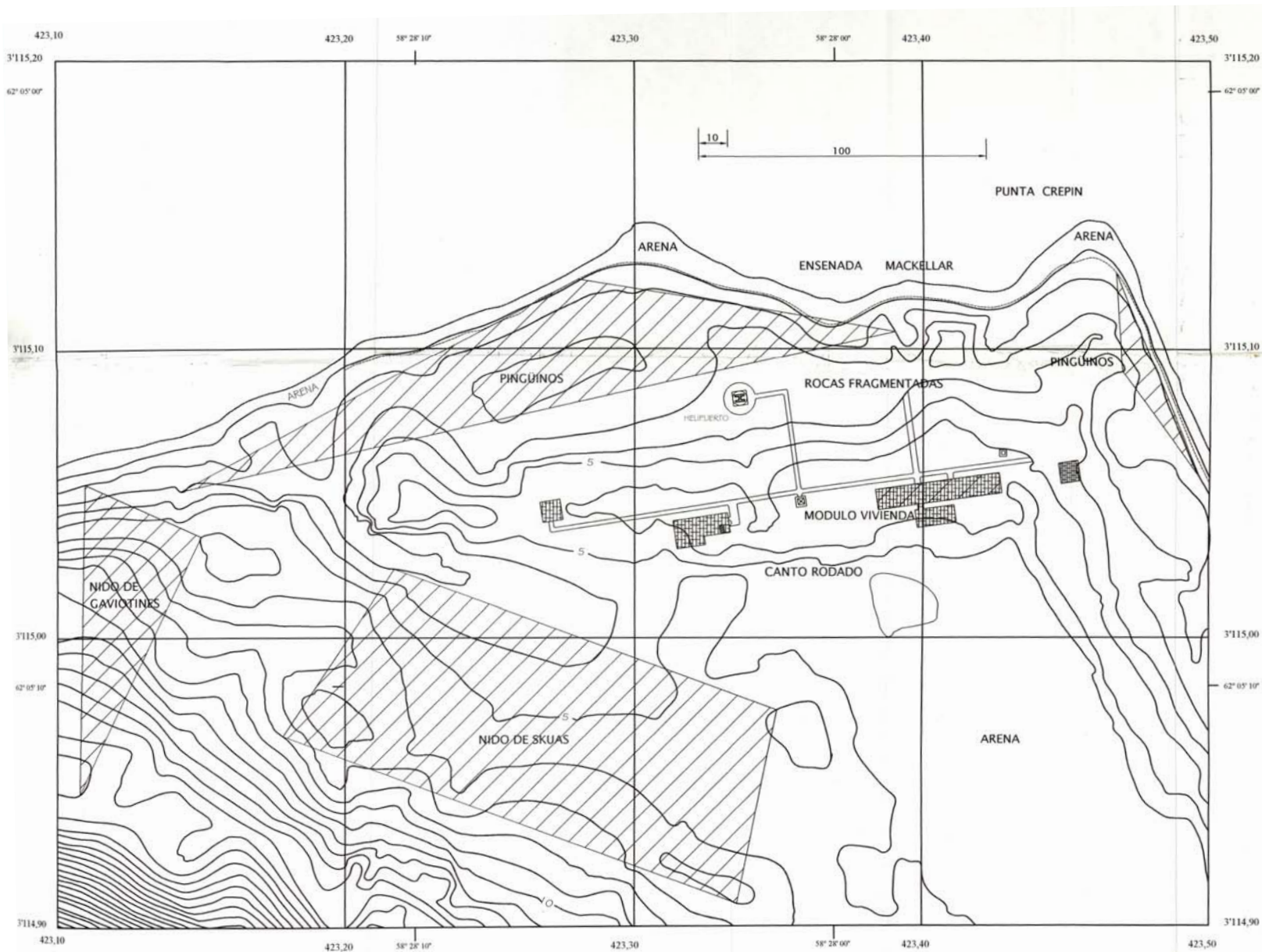
LEYENDA	
MODULO ECAMP	



	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA</b>			
	PLANO: UBICACIÓN DE LA ESTACIÓN CIENTÍFICA ANTÁRTICA MACHU PICCHU			
BACHILLER: ADRIAN ALONSO MOSCOSO BIBERACH			CÓDIGO: 200213300	
UBICACIÓN: ISLA REY JORGE	ESCALA: 1/2000	FECHA: 05/2008	DIBUJO: A A M R	LÁMINA: IIR-1 2



**APÉNDICE 4: Plano de Ubicación de los Receptores  
Naturales de la Contaminación UB-2.2**

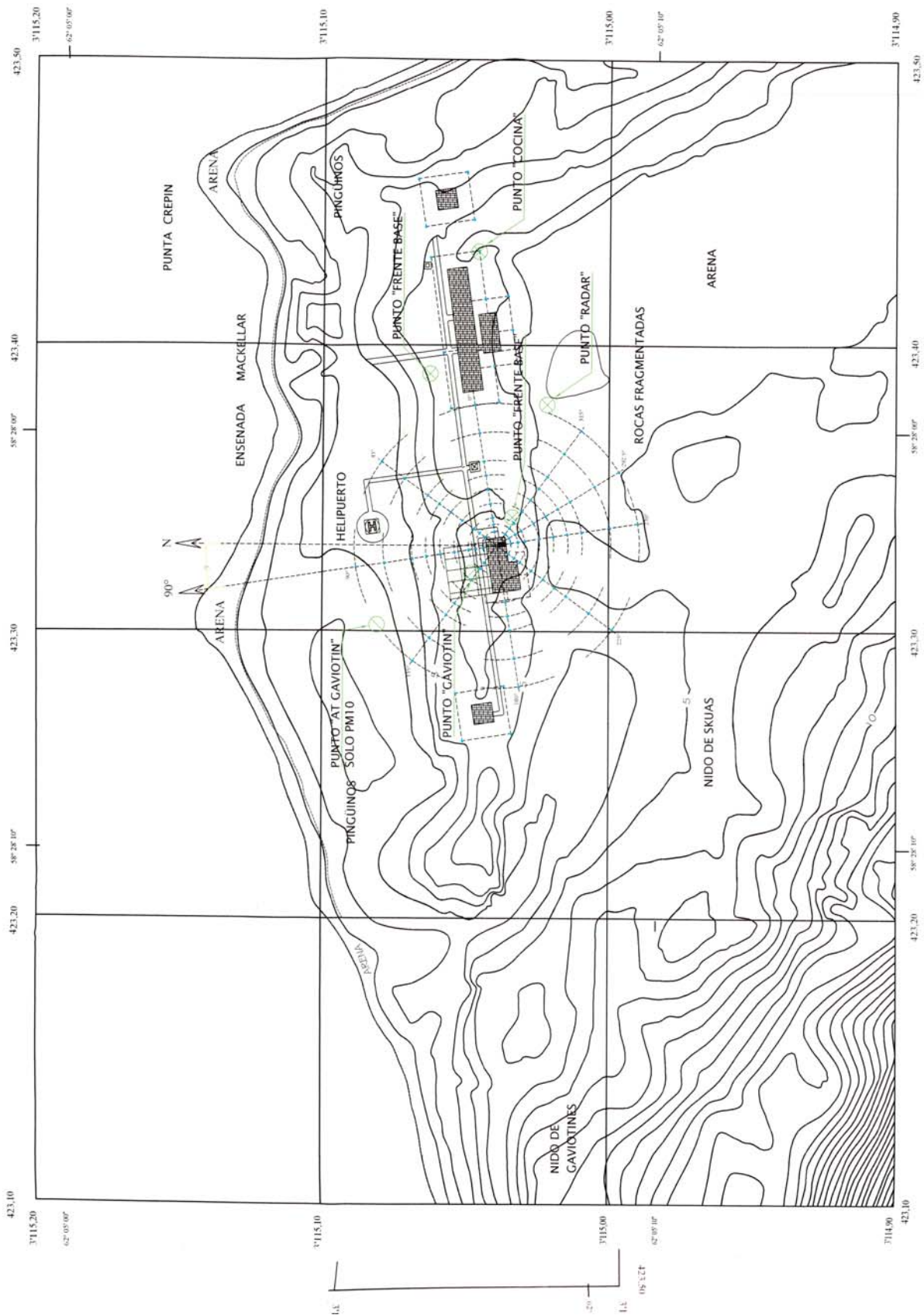


LEYENDA	
MODULO ECAMP	
FUENTE DE RUIDO	
RECEPTOR DE RUIDO	



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

PLANO: UBICACIÓN DE RECEPTORES DE RUIDO - ECAMP		CÓDIGO: 20021330D	
BACHILLER: ADRIAN ALONSO MOSCOSO BIEBERACH		LÁMINA: UB-2.2	
UBICACIÓN: ISLA REY JORGE	ESCALA: 1/2000	FECHA: 03/2009	DIBUJO: A.A.M.B



LEYENDA	
MODULO ECAMP	
FUENTE DE RUIDO	
RECEPTOR DE RUIDO	
LÍNEA IMAGINARIA	
PUNTO DE MONITOREO RUIDO	
PUNTO DE MONITOREO PM10	
PUNTO DE MONITOREO GAS	

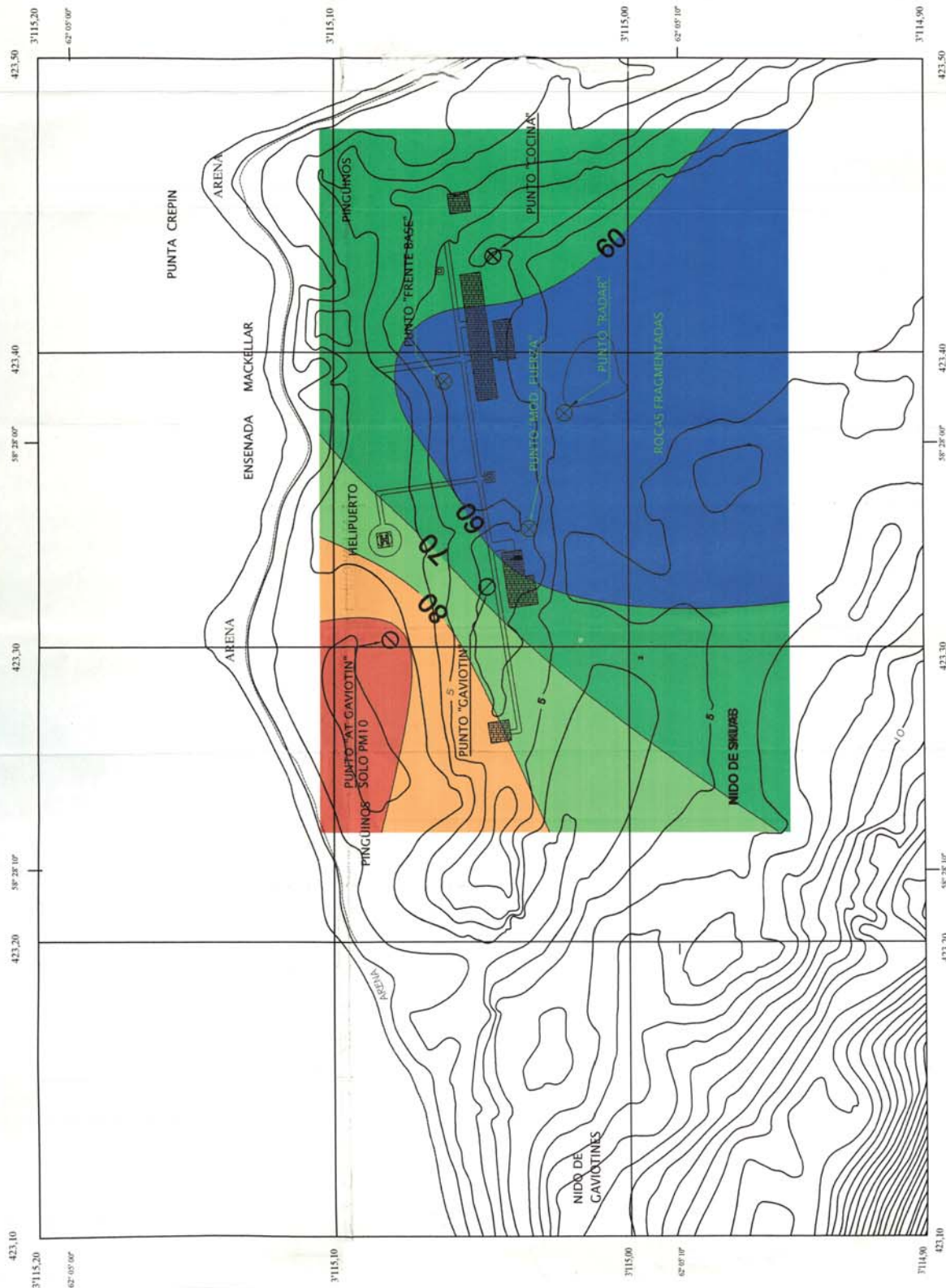


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

PLANO: UBICACIÓN DE PUNTOS MONITOREO PM10/GASES/RUIDO - ECAMP		CÓDIGO: 20021330D	
BACHILLER: ADRIAN ALONSO MOSCOSO BIEBERACH		LÁMINA: PR-1.1	
UBICACIÓN: ISLA REY JORGE	ESCALA: 1/2000	FECHA: 03/2009	DIBUJO: A.A.M.B

**APÉNDICE 5: Plano de Resultados de la Evaluación  
de Ozono E-1.5**

EVALUACIÓN DE OZONO - ECAMP  
 ESCALA DE CONCENTRACION EN AIRE  
 EN  $\mu\text{gr}/\text{m}^3$



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

PLANO: EVALUACIÓN DE OZONO - ECAMP

BACHILLER: ADRIAN ALONSO MOSCOSO BIEBERACH

CÓDIGO: 20021330D

UBICACIÓN: ISLA REY JORGE

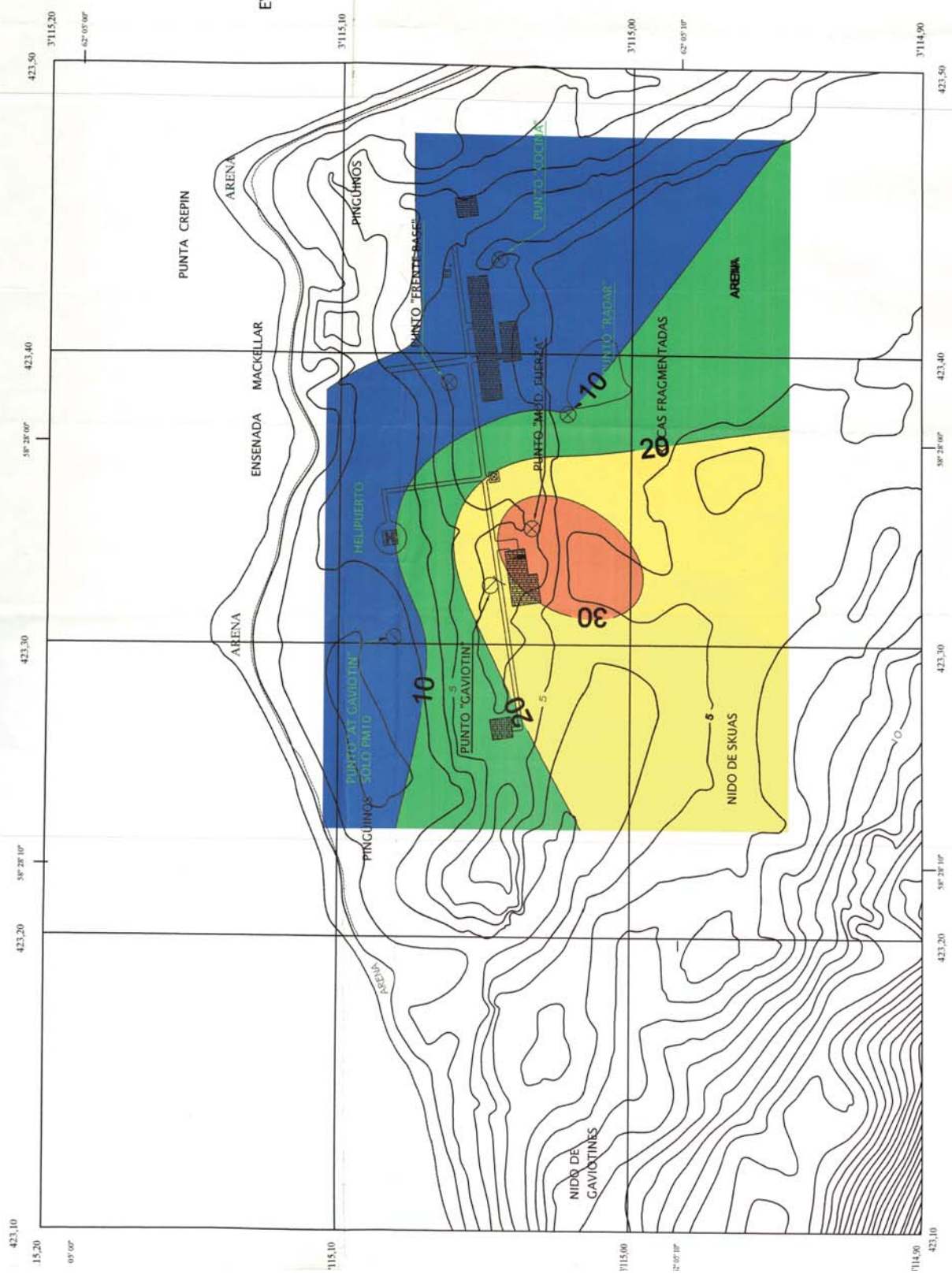
ESCALA: 1/2000

FECHA: 03/2009

DIBUJO: A.A.M.B

LÁMINA: E-1.5

**APÉNDICE 6: Plano de Resultados de la Evaluación  
de Dióxido de Nitrógeno E-2.5**



EVALUACIÓN DE DIÓXIDO DE NITRÓGENO - ECAMP  
 ESCALA DE CONCENTRACIÓN EN AIRE  
 EN µgr/m<sup>3</sup>

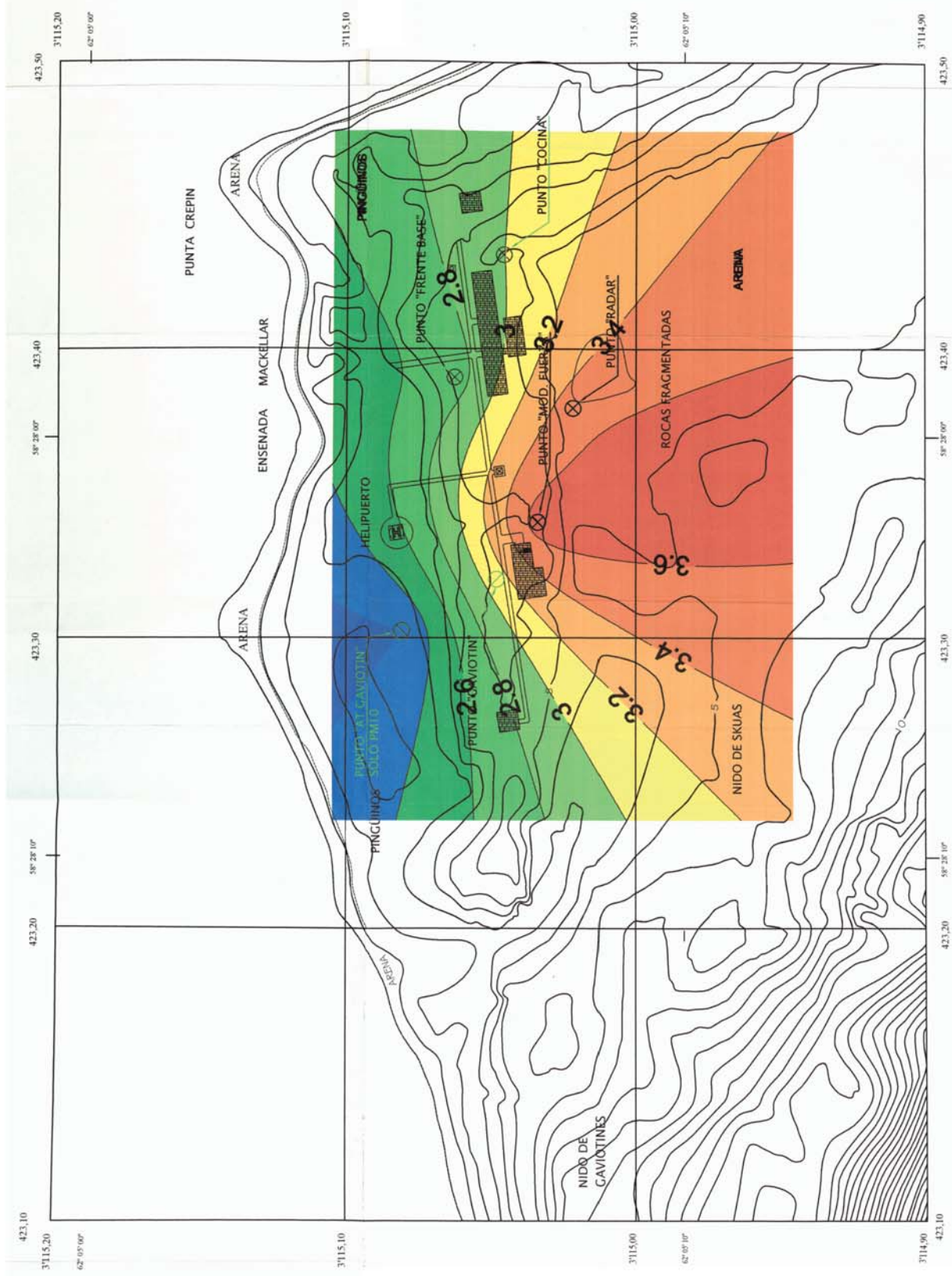


<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA</b>	
PLANO:	EVALUACIÓN DE DIÓXIDO DE NITRÓGENO - ECAMP
BACHILLER:	ADRIAN ALONSO MOSCOSO BIEBERACH
ESCALA:	1/2000
FECHA:	03/2009
DIBUJO:	A.A.M.B
CÓDIGO:	20021330D
LÁMINA:	E-2.5
UBICACIÓN:	ISLA REY JORGE

**PÉNDICE 7: Plano de Resultados de la Evaluación  
de Dióxido de Azufre E-3.5**

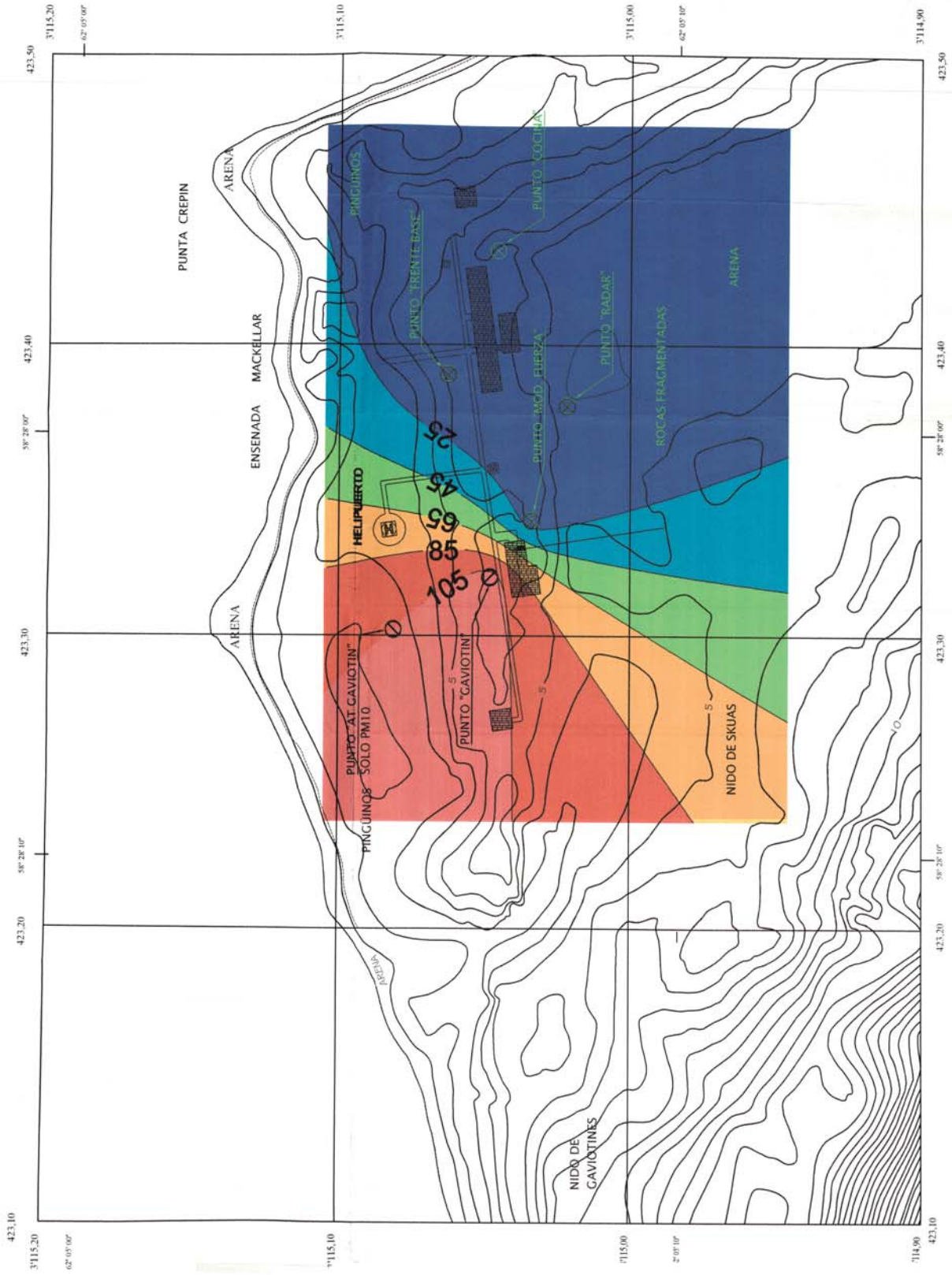


EVALUACIÓN DE DIÓXIDO DE AZUFRE - ECAMP  
 ESCALA DE CONCENTRACIÓN EN AIRE  
 EN  $\mu\text{gr}/\text{m}^3$

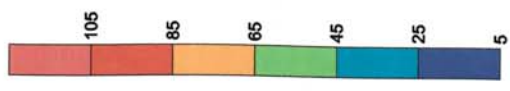


<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA</b>	
PLANO:	EVALUACIÓN DE DIÓXIDO DE AZUFRE - ECAMP
BACHILLER:	ADRIAN ALONSO MOSCOSO BIEBERACH
ESCALA:	1/2000
FECHA:	03/2009
DIBUJO:	A.A.M.B
CÓDIGO:	20021330D
LÁMINA:	E-3.5
UBICACIÓN:	ISLA REY JORGE

**APÉNDICE 8: Plano de Resultados de la Evaluación  
de Material Particulado de diámetro  
menor a 10 micrómetros E-4.5**



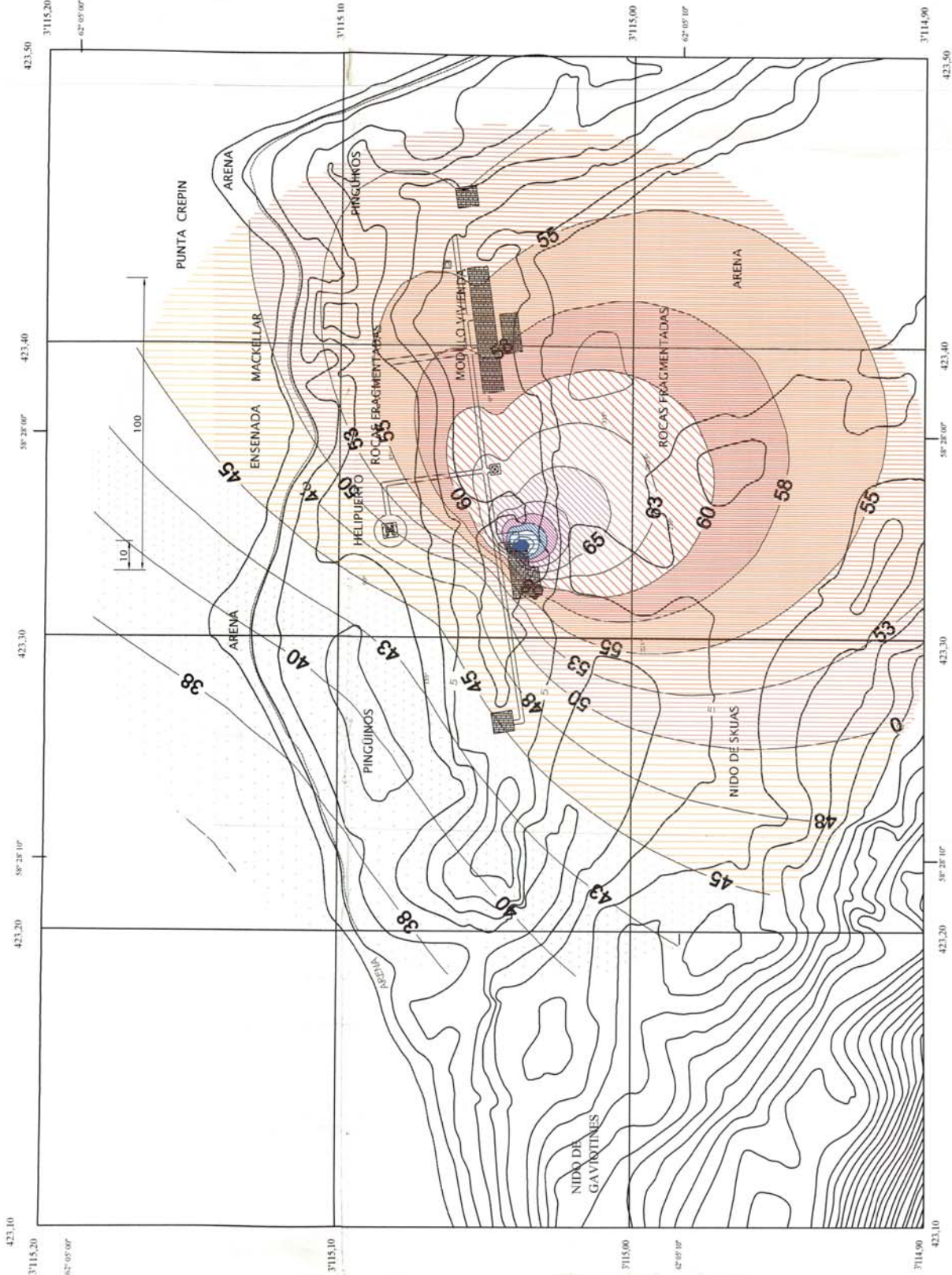
MATERIAL PARTICULADO CON  $\varnothing < 10 \mu\text{m}$  - ECAMP  
 ESCALA DE CONCENTRACION EN AIRE  
 EN  $\mu\text{gr}/\text{m}^3$



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

PLANO: MATERIAL PARTICULADO CON $\varnothing < 10 \mu\text{m}$ - ECAMP		CÓDIGO: 20021330D
BACHILLER: ADRIAN ALONSO MOSCOSO BIEBERACH		LÁMINA: E-4.5
UBICACIÓN: ISLA REY JORGE	FECHA: 03/2009	DIBUJO: A.A.M.B

**PÉNDICE 9: Plano de Resultados de la Evaluación  
de Ruido E-5.5**



LEYENDA	
MODULO ECAMP	
FUENTE DE RUIDO	

ESCALA DE RUIDO EN dB(A)  
POR ZONAS SEGUN ISO 1996-2, TABLA 1



<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA</b>			
PLANO: EVALUACIÓN DE RUIDO EN dB(A) POR MODELO ESCALA ISO 1996-2		CÓDIGO: 20021330D	
BACHILLER: ADRIAN ALONSO MOSCOSO BIEBERACH		LÁMINA: E-5.5	
ESCALA: 1/2000	FECHA: 03/2009	DIBUJO: A.A.M.B	
UBICACIÓN: ISLA REY JORGE			

**APÉNDICE 10: Observaciones meteorológicas de Superficie en la Estación Científica Antártica Machu Picchu en la Expedición Antar XVII. Dirección de Meteorología Aeronáutica de la Fuerza Aérea del Perú**



Información Meteorológica en la Estación Científica Antártica Machu Picchu en la Expedición Antar XVII  
 Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e hidrología del Perú (SENAMHI) Enero-Febrero 2007

AÑO	DÍA	JULIANO	PRESION ATMOSFERICA				TEMPERATURA				PUNTO DE ROCIO				HUMEDAD RELATIVA				VIENTO				IRRADIANCIA GLOBAL				PRECIPITACION		
			PAT	PAV	PA60	PA80	TA1	TA60	TA80	TA80	DT1	DT60	DT80	DT80	RHI	RH60	RH80	RH80	WD1	W51	SRI	SRI	SR60	SR60	SR60	SR60	PR60	SUM	
2007	19	8	998.776	998.776	999.049	998.219	6.98455	7.80962	5.10607	-3.91732	-1.03222	-4.50463	45.5164	62.9292	43.2524	350.61633	2.38148	610.67	871.643	808.353	0.0	0.0							
2007	19	9	998.852	998.852	999.009	997.676	4.71776	4.65948	7.245	-0.443831	-1.2452	-0.40748	69.1413	72.5510	45.1445	216.69933	7.40748	722.628	809.598	719.135	0.0	0.0							
2007	19	10	998.925	998.925	999.329	998.026	4.15917	5.20655	4.07626	-0.789529	0.191053	-1.18642	70.718	76.0216	76.0216	63.6845	6.22351	606.576	721.625	601.7	0.0	0.0							
2007	19	11	998.988	998.988	999.329	997.982	3.47432	4.78588	2.93097	-1.46762	-0.264289	-1.9642	63.9331	77.8609	61.3066	196.29133	4.90798	442.561	612.904	148.973	0.0	0.0							
2007	19	12	998.884	998.884	999.575	997.97	3.29575	4.79588	2.93097	-0.859655	-0.198368	-1.5847	74.4092	77.8609	61.3066	223.04933	8.61428	323.431	519.122	111.211	0.0	0.0							
2007	19	13	998.071	998.071	999.684	997.316	2.28976	3.39228	2.28976	-1.87877	-2.24033	-2.24033	73.5153	77.6271	77.6271	217.75933	10.0911	42.534	323.258	41.911	0.0	0.0							
2007	19	14	998.191	998.191	998.884	997.147	2.24786	3.27306	1.66664	-2.46247	-1.61922	-2.82153	71.1367	77.2886	66.5695	246.21333	8.97625	23.653	43.1564	23.981	0.0	0.0							
2007	19	15	997.532	997.532	998.659	996.659	2.75627	4.5054	1.70748	-3.20363	-2.13312	-2.13312	64.8976	75.4949	64.8976	226.77333	9.01109	5.04875	24.068	4.56462	0.0	0.0							
2007	19	16	998.583	998.583	998.669	995.816	1.75925	5.10762	1.6298	-2.75406	-2.20332	-2.20332	72.0052	75.6935	46.617	214.21633	6.068387	0	0	0	0.0	0.0							
2007	19	17	998.528	998.528	998.794	998.293	0.757776	1.76573	0.48316	-2.01496	-1.19187	-2.79584	81.7343	81.9575	72.1458	251.02533	2.90503	0	0	0	0.0	0.0							
2007	19	18	998.239	998.239	998.561	996.527	1.30064	1.49421	0.78323	-2.30951	-1.76046	-2.38284	76.6924	84.2463	75.6706	259.55933	0.553217	0	0	0	0.0	0.0							
2007	19	19	997.5	997.5	998.411	995.797	0.6057	1.29589	0.445233	-1.61133	-1.58663	-2.32284	65.0326	85.7036	77.0058	267.60433	4.76903	0	0	0	0.0	0.0							
2007	19	20	994.705	994.705	997.913	993.306	0.621884	0.91583	0.503568	-1.91866	-1.58187	-2.12111	83.0453	85.078	80.7138	0	0	4.0805	4.56462	0.0	0.0	0.0							
2007	19	21	994.882	994.882	997.005	992.938	1.14662	0.484353	0.484353	-2.11263	-1.77138	-2.53549	81.5045	83.5978	79.3639	0	0	49.1555	53.9455	4.14966	0.0	0.0	0.0						
2007	19	22	994.937	994.937	996.89	993.098	0.884023	1.2802	0.523144	-2.33057	-1.79146	-2.67043	79.118	82.8425	79.9777	0	0	176.395	177.605	31.1224	0.0	0.0	0.0						
2007	19	23	996.554	996.554	997.251	993.922	1.54739	1.57178	0.581386	-2.64483	-1.56712	-2.80674	73.6698	84.0175	82.2092	71.8635	313.922	337.782	175.945	0.0	0.0	0.0	0.0						
2007	20	1	995.697	995.697	996.815	992.464	1.56021	1.12486	1.12486	-1.63883	-1.48942	-2.82842	79.3418	82.0922	71.8635	305.046	515.387	200.013	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0					
2007	20	2	996.951	996.951	997.138	994.412	2.32542	1.82358	1.57133	-1.48433	-1.18787	-2.13141	74.0741	79.0963	73.3665	624.42	642.782	128.224	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				
2007	20	3	997.093	997.093	997.289	996.266	2.55217	2.89205	1.8043	-1.56299	-0.80864	-0.658958	70.136	79.706	72.6875	11.6575	286.119	160.592	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			
2007	20	4	996.51	996.51	997.382	996.026	3.06791	3.59115	1.99848	-1.81476	-0.906577	-2.22758	70.4469	74.8543	65.6835	390.828	1090.94	200.428	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
2007	20	5	996.482	996.482	996.974	995.443	3.29168	3.66373	2.67818	-1.60187	-0.531447	-2.61644	70.4469	74.8543	65.6835	438.273	1034.51	185.49	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
2007	20	6	995.743	995.743	996.547	995.356	3.70752	4.77681	2.71703	-2.16887	-1.16541	-2.16887	65.4508	72.4128	54.4832	883.012	1044.47	207.068	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
2007	20	7	994.097	994.097	996.012	993.13	4.74873	6.00104	3.1772	-2.50422	-1.38677	-3.78377	59.4965	66.9042	48.8444	668.873	948.197	233.211	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
2007	20	8	995.455	995.455	995.658	991.837	3.64775	4.91249	3.1631	-1.47637	-0.782228	-3.36783	69.2637	72.4662	58.6124	730.616	1036.17	321.163	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
2007	20	9	996.215	996.215	996.686	994.129	3.78938	4.05744	3.2395	-1.49226	-0.833776	-1.82037	66.8342	71.9245	67.1534	292.343	1093.37	222.422	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
2007	20	10	997.136	997.136	997.109	994.492	3.63305	4.48844	3.24147	-1.39517	-0.728123	-1.65663	69.3388	72.1534	66.6006	600.036	923.299	210.803	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
2007	20	11	997.247	997.247	997.406	996.239	4.54628	4.26052	3.29733	-1.60761	-0.782389	-1.62595	65.0445	71.4209	64.3483	571.581	744.863	153.122	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
2007	20	12	997.544	997.544	997.84	996.847	4.85418	3.50683	4.85418	-1.67574	-0.543716	-2.17578	68.9108	71.6575	63.5624	95.4767	70.8554	609.585	68.0544	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2007	20	13	997.936	997.936	998.132	996.704	2.91432	3.9606	3.04722	-1.92114	-1.25684	-2.10462	69.0259	72.0895	65.6766	36.0329	137.354	36.9319	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
2007	20	14	997.534	997.534	998.132	996.704	3.41657	2.85299	1.74777	-1.34302	-1.01836	-2.10462	71.5011	71.8024	68.4912	8.54138	46.8911	6.63945	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
2007	20	15	997.604	997.604	998.58	996.688	2.85022	3.0086	2.73666	-1.47847	-1.79155	-2.38172	70.6051	81.7667	79.0963	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2007	20	16	997.977	997.977	998.771	996.314	2.61701	2.57102	2.57102	-1.46524	-1.23595	-1.79155	74.5122	75.0069	71.3904	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2007	20	17	999.989	999.989	999.365	997.173	2.49197	2.60089	2.30971	-1.63326	-1.36697	-1.73058	74.7106	75.3933	73.7327	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2007	20	18	999.989	999.989	1000.15	998.339	2.65289	2.73728	2.29028	-1.93472	-1.56677	-2.24652	72.0599	74.9611	69.9255	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2007	20	19	1000.61	1000.61	1000.65	999.994	1.55231	2.56223	1.47458	-1.24269	-1.92119	-1.92119	80.6134	81.0266	73.6335	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2007	20	20	1001.43	1001.43	1001.45	1000.59	1.21737	1.17178	1.14445	-1.84486	-1.24269	-1.92119	80.6134	81.0266	73.6335	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2007	20	21	1001.62	1001.62	1001.64	1001.31	0.759408	1.28047	0.562015	-2.19807	-1.80281	-2.3377	77.3504	81.7667	79.0963	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2007	20	22	1001.99	1001.99	1002.02	1001.59	1.04133	1.20288	0.606601	-2.42004	-1.93628	-2.93172	77.3504	81.7667	79.0963	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2007	20	23	1002.21	1002.21	1002.35	1001.96	1.83595	3.58186	0.697527	-2.89647	-1.9893	-2.91942	70.8773	77.4865	70.6985	47.30691	48.96659	2.48979	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2007	20	24	1002.45	1002.45	1002.48	1002.15	3.03711	3.28032	1.68793	-0.955047	-0.955047	-2.95242	74.7697	75.8995	69.8798	148.177	148.973	49.3809	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2007	21	1	1002.56	1002.56	1002.56	1002.36	2.31563	3.59662	2.19716	-1.97614	-0.891529	-2.30533	73.3271	75.4068	69.8798	283.387	286.741	149.803	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2007	21	2	1002.93	1002.93	1002.96	1002.4	2.98832	3.10526	2.17275	-1.92724	-0.865502	-2.07748	72.1419	77.3363	71.9992	428.524	432.809	215.367	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2007	21	3	1002.92	1002.92	1003.02	1002.52	3.10208	3.1666	2.65856	-1.74472	-1.05873																		





Información Meteorológica en la Estación Científica Antártica Machu Picchu en la Expedición Aniar XVII  
Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e hidrología de Perú (SENAMHI), Enero-Febrero 2007

AÑO	DIA JULIANO	HORA(Z) GMT	PRESION ATMOSFERICA						TEMPERATURA						PUNTO DE ROCIO						HUMEDAD RELATIVA						VIENTO						IRRADIANCIA GLOBAL						PRECIPITACION	
			PA1 AVG	PA60 MAX	PA60 MIN	TA1 AVG	TA60 MAX	TA60 MIN	DP1 AVG	DP60 MAX	DP60 MIN	RH1 AVG	RH60 MAX	RH60 MIN	WD1	WS1	SR1 AVG	SR60 MAX	SR60 MIN	SR60_SUM	SR1 AVG	SR60 MAX	SR60 MIN	PR60_SUM																
2007	26	2	996.387	996.785	995.701	4.6846	4.62132	1.94327	2.86112	3.52659	1.17771	89.3175	95.5763	89.0378	255.07433	1.82446	156.253	201.258	125.32	0.0																				
2007	26	3	995.857	996.449	995.106	4.56232	2.91104	2.99438	2.03209	2.99438	0.960149	88.2131	89.7168	83.9717	44.52833	1.56342	120.167	125.32	96.7618	0.0																				
2007	26	4	995.861	996.009	995	4.33335	2.79429	4.46682	3.17023	4.46682	0.909898	75.7374	92.6369	74.2515	265.23633	1.67627	117.159	138.164	104.156	0.0																				
2007	26	5	996.028	996.117	995.343	4.20665	2.61458	3.61787	2.62931	3.61787	1.67356	76.0397	82.6518	73.7327	153.57693	2.19637	100.802	129.469	78.8435	0.0																				
2007	26	6	995.32	995.242	994.901	5.74744	5.47444	2.79541	2.79541	3.40622	2.39883	80.1014	83.1401	75.5486	350.91333	8.80286	194.308	196.694	101.667	0.0																				
2007	26	7	994.915	993.715	993.715	4.75333	3.85097	3.94689	3.85097	3.94689	2.39883	80.58	83.43	75.24091	201.83333	7.24091	150.909	248.149	148.803	0.0																				
2007	26	8	995.581	996.001	992.487	6.41105	7.36225	5.16476	4.40413	5.16476	2.9185	77.9519	83.4827	77.9519	235.32033	8.26397	285.6	291.721	152.707	0.0																				
2007	26	9	995.901	996.208	993.668	6.74379	7.20556	5.84507	3.86866	4.62132	3.35752	81.9206	80.5984	80.5984	277.19533	2.40749	463.551	1110.03	293.381	0.0																				
2007	26	10	995.951	996.499	995.074	6.27853	6.17462	4.08559	4.08559	4.08559	3.384517	85.8651	88.0993	79.722	212.10133	7.16714	534.96	1040.73	315.374	0.0																				
2007	26	11	995.844	996.208	994.891	4.76256	6.31069	4.76256	4.62907	4.62907	3.384517	91.6929	84.7804	84.7804	230.42033	7.80053	204.786	733.659	155.612	0.0																				
2007	26	12	995.943	996.454	994.94	4.50972	4.91249	4.32915	3.71657	3.71657	3.10026	92.2009	92.5474	91.2656	241.36333	9.45981	161.283	232.381	95.4421	0.0																				
2007	26	13	995.788	996.45	994.787	4.87399	4.25175	3.28331	3.70026	3.70026	3.10026	91.7862	89.5658	89.5658	228.94333	8.75498	105.678	166.401	78.0135	0.0																				
2007	26	14	995.956	996.377	994.959	4.74951	4.9323	4.46584	3.56677	3.56677	3.05768	91.7882	92.3032	88.9767	228.41633	8.27517	36.3441	108.306	27.3877	0.0																				
2007	26	15	995.459	996.491	994.801	4.70719	5.26314	4.5208	3.44719	3.44719	2.76121	91.5473	91.7081	84.4295	218.00833	9.85106	1.83276	37.4659	1.2449	0.0																				
2007	26	16	995.184	995.892	994.308	4.67822	4.46584	3.56677	3.64996	3.64996	2.63981	92.1843	92.41	84.0785	220.78033	6.30419	0	2.07483	0	0.0																				
2007	26	17	995.145	995.409	993.85	4.92398	5.16594	4.52415	3.15846	3.15846	2.89507	88.3301	92.3109	85.9859	218.91233	5.03223	0	0	0	0.0																				
2007	26	18	994.805	995.227	994.001	4.80488	5.12745	4.64076	3.09041	3.09041	2.45028	86.6722	90.1441	85.4213	232.62933	4.24719	0	0	0	0.0																				
2007	26	19	994.575	994.997	994.515	4.97117	4.79651	3.78572	2.45826	2.45826	2.10074	89.7759	89.9686	84.7575	353.77533	4.07111	0	0	0	0.0																				
2007	26	20	994.421	994.699	993.673	4.5671	4.79651	3.78572	2.4188	2.4188	3.15349	86.0123	91.319	85.8333	338.15833	2.65241	0	0	0	0.0																				
2007	26	21	994.138	994.429	994.025	4.61511	4.62202	4.19378	2.2252	2.2252	2.47888	84.4733	87.3592	84.4066	255.48733	0.724716	0.0345805	17.0136	0	0.0																				
2007	26	22	993.549	994.206	993.318	4.16687	4.85455	4.13517	1.77085	1.77085	2.28086	84.446	84.872	82.1329	349.80933	4.16929	16.6678	17.0136	0	0.0																				
2007	26	23	993.075	993.599	992.243	5.82946	5.84586	4.13548	2.40761	2.81235	1.764	78.6882	85.7646	78.4783	202.33933	3.84488	46.822	47.7211	15.3537	0.0																				
2007	27	0	992.985	993.571	991.63	5.8408	5.98297	4.56302	3.11776	3.11776	1.90044	82.6881	86.375	77.5323	26.12433	1.35096	50.1763	69.7142	42.7415	0.0																				
2007	27	1	993.138	993.213	992.693	5.71433	6.07927	4.79551	2.66841	2.66841	1.37373	80.792	83.352	79.4931	203.66333	2.99568	69.2301	72.204	47.3061	0.0																				
2007	27	2	992.99	993.184	991.901	5.50015	6.03993	4.71778	1.92369	2.87561	1.72726	77.7345	82.3237	76.7932	139.80553	0.824148	116.363	125.32	72.619	0.2																				
2007	27	3	992.815	993.069	992.555	5.1165	5.94272	5.00891	1.76782	2.31834	1.54504	78.9813	79.4702	75.9224	5.94833	1.41688	160.142	161.007	116.19	0.0																				
2007	27	4	992.883	993.036	991.818	5.00122	6.36997	4.89231	2.89745	2.97089	1.71008	86.3	86.5681	75.5286	264.01733	4.55952	180.337	370.979	129.054	0.0																				
2007	27	5	992.277	992.998	991.727	5.18828	5.55434	4.40887	3.0745	3.22369	2.25584	84.3716	89.2666	83.0638	219.26433	2.98821	299.121	330.728	117.85	0.0																				
2007	27	6	991.988	992.337	990.491	6.26944	6.40866	5.08664	2.84167	3.45656	2.26615	78.6621	84.7194	78.402	5.69533	2.18063	309.011	452.728	260.598	0.0																				
2007	27	7	991.973	992.725	991.025	5.70097	7.22555	5.22267	2.47199	3.71674	2.32379	78.6686	83.4071	73.1681	68.93133	1.75825	351.753	413.306	257.279	0.0																				
2007	27	8	992.111	992.168	991.187	7.27668	7.16113	5.33969	3.35552	2.79699	3.8592	76.2137	83.7428	75.6249	167.99033	1.92835	782.971	1040.73	239.02	0.0																				
2007	27	9	992.459	992.477	991.286	7.36085	6.84068	6.5224	2.6303	3.3209	2.54074	73.0111	76.7083	67.6229	331.37433	0.944697	286.381	952.346	170.136	0.0																				
2007	27	10	992.82	992.696	992.277	8.30861	8.37251	7.26334	3.36364	4.13228	2.76215	72.0453	76.1666	69.5746	192.81433	1.34079	324.745	759.387	217.857	0.0																				
2007	27	11	993.137	993.16	992.661	6.83742	8.41142	6.60229	2.86823	4.23701	2.51686	75.4933	79.5541	71.0547	148.85273	2.16677	172.176	480.945	170.966	0.0																				
2007	27	12	993.718	993.246	993.075	6.71314	7.53673	6.62173	3.08866	3.39359	2.59993	77.1813	78.9209	72.0068	70.51433	0.960267	111.107	226.986	100.837	0.0																				
2007	27	13	994.211	994.295	993.707	6.71314	7.53673	6.62173	3.08866	3.39359	2.59993	77.1813	78.9209	72.0068	70.51433	0.960267	111.107	226.986	100.837	0.0																				
2007	27	14	994.693	994.731	994.195	4.65813	5.72844	4.58141	2.19696	2.84948	1.92888	84.0403	84.7194	79.1955	5.21233	1.00207	24.4484	63.9047	22.4081	0.0																				
2007	27	15																			0.0																			
2007	27	16																			0.0																			
2007	27	17																			0.0																			
2007	27	18																			0.0																			
2007	27	19																			0.0																			
2007	27	20																			0.0																			
2007	27	21																			0.0																			
2007	27	22																			0.0																			
2007	27	23																			0.0																			
2007	28	0																			0.0																			
2007	28	1																			0.0																			
2007	28	2																			0.0																			
2007	28	3																			0.0																			
2007	28	4																			0.0																			
2007	28	5																			0.0																			
2007	28	6																			0.0																			
2007	28	7																			0.0																			
2007	28	8																			0.0																			
2007	28	9																			0.0																			
2007	28	10																			0.0																			
2007	28	11																			0.0																			
2007	28	12																			0.0																			
2007	28	13																			0.0																			
2007	28	14																			0.0																			
2007	28	15																			0.0																			
2007	28	16																			0.0																			
2007	28	17																			0.0																			
2007	28	18																			0.0																			
2007	28	19	996.908	997.24																																				



Información Meteorológica en la Estación Científica Antártica Machu Picchu en la Expedición Antar XVII  
Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). Enero-Febrero 2007

AÑO	DIA JULIANO	HORA(Z) GMT	PRESION ATMOSFERICA					TEMPERATURA					PUNTO DE ROCIO					HUMEDAD RELATIVA					VIENTO					IRRADIANCIA GLOBAL					PRECIPITACION	
			PA1_AVG	PA60_MAX	PA60_MIN	TA1_AVG	TA60_MAX	TA60_MIN	DP60_MAX	DP60_MIN	DP60_AVG	RH1_AVG	RH60_MAX	RH60_MIN	WD1	MS1	SR1_AVG	SR60_MAX	SR60_MIN	SR60_SUM	PR60_MIN	PR60_SUM												
2007	32	20	977.514	977.872	975.675	1.29819	1.33873	1.12466	-0.63625	-0.316432	-0.744642	86.9619	86.5963	75.09633	11.1242	0	0.414966	0	0	0	0.0													
2007	32	21	978.864	978.053	977.1	1.03117	1.33863	0.950133	-0.663111	-0.394519	-0.724083	88.4617	87.1685	67.84133	12.0079	0	1.2449	0	0	0	0.0													
2007	32	22	980.304	980.429	977.345	0.710835	1.1057	0.678407	-0.540326	-0.499016	-0.696611	91.3731	91.4411	70.43233	10.295	3.98889	4.56462	0	0	0	0.0													
2007	32	23	981.387	981.791	978.744	0.550855	0.73876	0.484279	-0.693931	-0.417429	-0.774702	91.375	92.967	67.62033	10.7011	20.8174	21.1632	2.90476	0	0	0.0													
2007	33	0	982.972	983.367	980.385	0.309604	0.620309	0.290165	-0.652251	-0.417764	-0.715053	93.7529	91.4869	45.10933	11.2645	35.445	42.7415	19.9164	0	0	0.0													
2007	33	1	984.401	984.775	982.073	0.322552	0.445523	0.21252	-1.49292	-0.562475	-1.02589	87.6186	87.3363	67.15333	15.2066	60.585	61.4149	34.0272	0	0	0.0													
2007	33	2	986.437	986.631	983.675	0.71239	0.736648	0.290163	-1.6352	-1.34257	-1.95289	86.4186	87.8552	65.12633	10.2066	45.1275	97.102	43.9864	0	0	0.0													
2007	33	3	987.822	988.036	985.505	0.346671	0.775593	0.23193	-1.34142	-1.12764	-2.0388	88.418	89.6939	62.1406	8.81526	128.743	130.299	39.8367	0	0	0.0													
2007	33	4	989.147	989.281	986.752	1.01981	1.08628	0.309598	-2.66039	-1.24654	-2.73742	76.5506	88.8317	76.0903	76.66133	257.797	259.354	113.701	0	0	0.0													
2007	33	5	990.719	990.827	988.489	1.39832	1.61026	0.950277	-2.84896	-1.83131	-3.10782	73.3385	79.1498	71.8787	67.62833	337.609	1065.22	259.354	0	0	0.0													
2007	33	6	991.103	991.316	989.799	1.2689	1.45514	1.18319	-2.65685	-2.14848	-3.4064	75.1219	77.5704	70.9326	66.43333	383.117	445.673	291.721	0	0	0.0													
2007	33	7	992.419	992.565	990.422	1.13468	1.4163	1.06653	-2.7189	-2.16088	-3.37624	75.4112	77.723	71.5049	61.17633	353.966	1209.21	258.939	0	0	0.0													
2007	33	8																																
2007	33	9																																
2007	33	10																																
2007	33	11																																
2007	33	12																																
2007	33	13																																
2007	33	14																																
2007	33	15																																
2007	33	16																																
2007	33	17																																
2007	33	18																																
2007	33	19																																
2007	33	20																																
2007	33	21																																
2007	33	22																																
2007	33	23																																

OBSERVACIONES

- 1) La precipitación se ha tomado de la estación Ferraz.
- 2) La dirección del viento se ha corregido hacia el norte verdadero (-12°19')

LEYENDA

- Ejm =
- PA1\_AVG = Presión Atmosférica promedio de 1 minuto antes de la hora
- PA60\_MAX = Presión Atmosférica máxima de la hora
- PA60\_MIN = Presión Atmosférica mínima de la hora
- PR60\_SUM = Precipitación total horaria
- PA = Presión Atmosférica
- TA = Temperatura del Aire
- DP = Punto de Rocio
- RH = Humedad Relativa
- WD = Dirección del Viento
- MS = Velocidad del Viento
- SR = Radiación Solar
- PR = Precipitación

**APÉNDICE 11: Información Meteorológica en la Estación Científica Antártica Machu Picchu en la Expedición Antar XVII. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) Enero-Febrero 2007**

## OBSERVACIONES METEOROLOGICAS HORARIAS DE SUPERFICIE

HORA (UTC)	VIENTO (KM)		VISIBILIDAD		TIEMPO PRESENTE	NUBOSIDAD						TEMPERATURA (°C)			H R (%)	PRESION (hp a)			PRONOSTICO DE TENDENCIA (2 horas) BEMG/TEMPO NOSIG	
	ddd	ff	VVVVV	VVVVVV		W	Nn	Nn	Nn	Nn	Nn	Nn	T	T		T	QNH	QFE		QFP
00																				
01																				
02																				
03																				
04																				
05																				
06																				
07																				
08																				
09																				
10																				
11																				
12																				
13.00	SUAVE				9999					SCT	NUB. TENUE									
13.30	SUAVE				9999					SCT	NUB. TENUE									
14.00	SUAVE				9999					SCT	NUB. TENUE									
14.30	SUAVE				9999					SCT	NUB. TENUE									
15.00	SUAVE				9999					SCT	NUB. TENUE									
15.30	SUAVE				9999					SCT	NUB. TENUE									
16.00	SUAVE				9999					FEW	SIN NUB.									
16.30	SUAVE				9999					FEW	SIN NUB.									
17.00	SUAVE				9999					SKC										
17.30	SUAVE				9999					SKC										
18.00	SUAVE				9999					SKC										
18.30	SUAVE				9999					SKC										
19.00	SUAVE				9999					SKC										
19.30	SUAVE				9999					SKC										
20.00	SUAVE				9999					SKC										
20.30	SUAVE				9999					SKC										
21.00	SUAVE				9999					SKC										
21.30	SUAVE				9999					SKC										
22.00	SUAVE				9999					SKC										
23																				
24																				
<b>ABREVIATURAS - OACI</b>																				
NUBOSIDAD: SKC (Despejado) 08 FEW (Pocos 1-28) SCT (Dispersos 3-48) BKN (Fraccionado 5-78) OVC (Cubierto 8/8)																				
VIS RWY: (I) U (EN AUMENTO) D (DISMINUYE) N (SIN CAMBIO)																				
TEMPERATURA: (T-T) M (Para indicar < 0 °C)																				
INDICADORES DE TENDENCIA: (T) FM (Desde - Inicio) AT (a) TL (Hasta - fin)																				
HORAS EVAPORACION OBSERVACION																				
SOL 1200 2400																				
PRECIPITACION 1200 00.00 TOTAL																				

### OBSERVACIONES METEOROLOGICAS HORARIAS DE SUPERFICIE

HORA (UTC)	VIENTO (KM)		VISIBILIDAD		TIEMPO PRESENTE	NUBOSIDAD						TEMPERATURA (°C)			H.R. (%)	PRESION (hp a)		PROMOSTICO DE TENDENCIA (2 horas)
	ddd	ff	Gmfm	VVVVd		vvvvvdx	Ni	Nh	Ni	Nh	T	Td	B	H		QNH	QFE	
00																		
01																		
02																		
03																		
04																		
05																		
06																		
07																		
08																		
09	SUAVE																	
10.00	SUAVE																	
10.30	SUAVE																	
11.00	SUAVE																	
11.30	MODERADO																	
12.00	MODERADO																	
12.30	SUAVE																	
13.00	MODERADO																	
13.30	MODERADO																	
14.00	MODERADO																	
14.30	MODERADO																	
15.00	MODERADO																	
15.30	SUAVE																	
16.00	SUAVE																	
16.30	FUERTE																	
17.00	FUERTE																	
17.30	FUERTE																	
18.00	FUERTE																	
18.30	FUERTE																	
19.00	FUERTE																	
19.30	FUERTE																	
20.00	FUERTE																	
20.30	FUERTE																	
21.00	FUERTE																	
22.00	FUERTE																	
23																		
24																		
<b>ABREVIATURAS - OACI</b>																		
NUBOSIDAD: SKC (Despejado 0/8 FEW (Pocos 1-2/8) SCT (Dispersos 3-4/8) BKN (Fraccionado 5-7/8) OVC (Cubierto 8/8)) VIS RWY: (I) U (EN AUMENTO) D (DISMINUYE) N (SIN CAMBIO) TEMPERATURA: (T-T*) M (Para indicar < 0 °C) INDICADORES DE TENDENCIA: (T) FM (Desde - Inicio) AT (a) TL (Hasta - fin)																		
TOTAL																		
HORAS EVAPORACION OBSERVACION SOL 1200 2400																		
TEMPERATURA HUMEDAD PRESION (QFE) PRECIPITACION Minima Maxima Minima Maxima 1200 1800 00.00 TOTAL																		





### OBSERVACIONES METEOROLOGICAS HORARIAS DE SUPERFICIE

HORA (UTC)	VIENTO (KM)		VISIBILIDAD		TIEMPO PRESENTE	NUBOSIDAD				TEMPERATURA (°C)			H.R. (%)	PRESION (hp a)		PRONOSTICO DE TENDENCIA (2 horas) BEMG/TEMPO NOSIG	
	ddd	ff	VVVVVdV	vvvvvvvdx		W	Ni	Nh	h	h	T	B		H	T		d
00																	
01																	
02																	
03																	
04																	
05																	
06																	
07																	
08																	
09																	
10																	
11																	
12																	
13.00																	
13.30																	
14.00																	
14.30																	
15.00																	
15.30																	
16.00																	
16.30																	
17.00																	
17.30																	
18.00																	
18.30																	
19.00																	
19.30																	
20.00																	
20.30																	
21.00																	
22.00																	
23																	
24																	
<b>ABREBIATURAS - OACI</b>																	
NUBOSIDAD: SKC (Despejado 0/8) FEW (Pocos 1-2/8) SCT (Dispersos 3-4/8) BKN (Fraccionado 5-7/8) OVC (Cubierto 8/8) VIS RMY (I) U (ENAJUMENTO) D (DISMINUYE) N (SIN CAMBIO) TEMPERATURA (T+T*) M (Para indicar < 0 °C) INDICADORES DE TENDENCIA (TT) FM (Desde - inicio) AT (a) TL (Hasta - fin)																	
TOTAL																	
MEDA																	
TEMPERATURA																	
Minima Maxima																	
HUMEDAD																	
Minima Maxima																	
PRESION (QFE)																	
Minima Maxima																	
PRECIPITACION																	
1200 1800 00.00 TOTAL																	
HORAS																	
EVAPORACION																	
SOL 1200 2400																	
OBSERVACION																	

AMANEJO NEVANDO  
11.00 AM LOCAL MEJORO CONDICIONES SE INICIO MEDICIONES  
VIENTOS INTENSOS DEL SUR

### OBSERVACIONES METEOROLOGICAS HORARIAS DE SUPERFICIE

HORA (UTC)	VIENTO (KM)		VISIBILIDAD		TIEMPO PRESENTE	NUBOSIDAD			TEMPERATURA (°C)			H.R. (%)	PRESION (hp a)		PRONOSTICO DE TENDENCIA (2 horas)	
	ddd	ff	G/mfm	VVVVdV VVVVVVdV		RDdD/VA/Va	Nh/Nh	Nh/Nh	Nh/Nh	T-T	BH		Td Td	QNH		QFE
00																
01																
02																
03																
04																
05																
06																
07																
08																
09	MODERADO	S						SCT	TENUE							
10	MODERADO	S						BKN	MODERADO							
11	MODERADO	S						BKN	MODERADO							
12	MODERADO	S						BKN	DENSA							
13.00	SUAVE	S						OVC								
13.30	SUAVE	S						OVC								
14.00	SUAVE	S						BKN	MODERADO							
14.30	SUAVE	S						SCT	TENUE							
15.00	SUAVE	S						SCT	TENUE							
15.30	SUAVE	S						SCT	TENUE							
16.00	SUAVE	S						SCT	TENUE							
16.30	SUAVE	S						SCT	TENUE							
17.00	SUAVE	S						FEW	DESPEJADO							
17.30	SUAVE	S						FEW	DESPEJADO							
18.00	SUAVE	S						FEW	DESPEJADO							
18.30	SUAVE	S						FEW	DESPEJADO							
19.00	SUAVE	S						FEW	DESPEJADO							
19.30	SUAVE	S						FEW	DESPEJADO							
20.00	SUAVE	S						FEW	DESPEJADO							
20.30	SUAVE	S						FEW	DESPEJADO							
21.00	SUAVE	S						FEW	DESPEJADO							
22.00	SUAVE	S						FEW	DESPEJADO							
23																
24																
<b>ABREVIATURAS - OACI</b>																
NUBOSIDAD: SKC (Despejado 0/8) FEW (Pocos 1-2/8) SCT (Dispersos 3-4/8) BKN (Fraccionado 5-7/8) OVC (Cubierto 8/8) VIS RWY: (I) U (EN AUMENTO) D (DISMINUYE) N (SIN CAMBIO) TEMPERATURA: (T-T*) M (Para indicar < 0 °C) INDICADORES DE TENDENCIA: (T) FM (Desde - Inicio) AT (a) TL (Hasta - fin)																
TOTAL																
MEDIA																
TEMPERATURA																
Maxima																
Minima																
HUMEDAD																
Maxima																
Minima																
PRESION (QFE)																
Maxima																
Minima																
PRECIPITACION																
1200																
1800																
00.00																
TOTAL																
HORAS																
EVAPORACION																
OBSERVACION																
SOL																
1200																
2400																

### OBSERVACIONES METEOROLOGICAS HORARIAS DE SUPERFICIE

HORA (UTC)	VIENTO (KM)		VISIBILIDAD		TIEMPO PRESENTE	NUBOSIDAD			TEMPERATURA (°C)				H.R. (%)	PRESION (hp a)			PRONOSTICO DE TENDENCIA (2 horas)								
	ddd	ff	VVVVV	VVVVVd		W	N	N	N	T	B	H		T	T	d		P	P	P	P	BEMG/TEMPO			
																							RR	DD	UU
00																									
01																									
02																									
03																									
04																									
05																									
06																									
07																									
08																									
09	SUAVE	SW			9999					OVC															
10	SUAVE	SW			9999					OVC															
11	SUAVE	SW			9999					OVC															
12	SUAVE	SW			9999					OVC															
13.00	SUAVE	SW			9999					OVC															
13.30	SUAVE	SW			9999					OVC															
14.00	SUAVE	SW			9999					OVC															
14.30	SUAVE	SW			9999					OVC															
15.00	SUAVE	SW			9999					OVC															
15.30	SUAVE	SW			9999					OVC															
16.00	SUAVE	SW			9999					BKN															
16.30	SUAVE	SW			9999					BKN	DENSO														
17.00	SUAVE	SW			9999					OVC															
17.30	SUAVE	SW			9999					OVC															
18.00	SUAVE	SW			9999					OVC															
18.30	SUAVE	SW			9999					OVC															
19.00	SUAVE	SW			9999					OVC															
19.30	SUAVE	SW			9999					OVC															
20.00	SUAVE	SW			9999					OVC															
20.30	SUAVE	SW			9999					OVC															
21.00	SUAVE	SW			9999					OVC															
22.00																									
23																									
24																									
<b>ABREBIATURAS - OACI</b>																		HORAS		EVAPORACION		OBSERVACION			
																		SOL		1200		2400			
																		TEMPERATURA		HUMEDAD		PRESION (QFE)		PRECIPITACION	
																		Maxima		Minima		Maxima		1200	
																		TOTAL		TOTAL		TOTAL		TOTAL	

NUBOSIDAD: SKC (Despejado 0/8) FEW (Pocos 1-2/8) SCT (Dispersos 3-4/8) BKN (Fraccionado 5-7/8) OVC (Cubierta 8/8)  
 VIS RMY (I) U (EN AUMENTO) D (DISMINUYE) N (SIN CAMBIO)  
 TEMPERATURA: (T°T°) M (Para indicar < 0 °C)  
 INDICADORES DE TENDENCIA: (T) FM (Desde - Inicio) AT (a) TL (Hasta - fin)

### OBSERVACIONES METEOROLOGICAS HORARIAS DE SUPERFICIE

HORA (UTC)	VIENTO (KM)		VISIBILIDAD		TIEMPO PRESENTE	NUBOSIDAD			TEMPERATURA (°C)			H.R. (%)	PRESION (hp.a)		PRONOSTICO DE TENDENCIA (2 horas) BEMG/TEMPO NOSIG
	ddd	ff	VVVVd <sub>v</sub>	RDdD <sub>v</sub> /Va/Va/V <sub>dir</sub>		W	Nh	Nh	Nh	T	B		H	Td	
00															
01															
02															
03															
04															
05															
06															
07															
08															
09	MODERAD	S	9999			SCT		TENUE							AMANEJO NUBLADO PARCIAL
10	MODERAD	S	9999			BKN		MODERADO							SE REALIZO ALGUNAS OBSERVACIONES LUEGO SE INTERRUMPIO SE CUBI
11	MODERAD	S	9999			BKN		MODERADO							SE REALIZO ALGUNAS OBSERVACIONES LUEGO SE INTERRUMPIO SE CUBI
12	MODERAD	S	9999			BKN		DENSA							SE REALIZO ALGUNAS OBSERVACIONES LUEGO SE INTERRUMPIO SE CUBI
13.00	SUAVE	S	9999			OVC									SE REALIZO ALGUNAS OBSERVACIONES LUEGO SE INTERRUMPIO SE CUBI
13.30	SUAVE	S	9999			OVC									SE REALIZO ALGUNAS OBSERVACIONES LUEGO SE INTERRUMPIO SE CUBI
14.00	SUAVE	S	9999			BKN		MODERADO							SE REALIZO ALGUNAS OBSERVACIONES LUEGO SE INTERRUMPIO SE CUBI
14.30	SUAVE	S	9999			SCT		TENUE							SE REALIZO ALGUNAS OBSERVACIONES LUEGO SE INTERRUMPIO SE CUBI
15.00	SUAVE	S	9999			SCT		TENUE							SE REALIZO ALGUNAS OBSERVACIONES LUEGO SE INTERRUMPIO SE CUBI
15.30	SUAVE	S	9999			SCT		TENUE							SE REALIZO ALGUNAS OBSERVACIONES LUEGO SE INTERRUMPIO SE CUBI
16.00	SUAVE	S	9999			SCT		TENUE							SE REALIZO ALGUNAS OBSERVACIONES LUEGO SE INTERRUMPIO SE CUBI
16.30	SUAVE	S	9999			SCT		TENUE							SE REALIZO ALGUNAS OBSERVACIONES LUEGO SE INTERRUMPIO SE CUBI
17.00	SUAVE	S	9999			FEW		DESPEJADO							SE REALIZO ALGUNAS OBSERVACIONES LUEGO SE INTERRUMPIO SE CUBI
17.30	SUAVE	S	9999			FEW		DESPEJADO							SE REALIZO ALGUNAS OBSERVACIONES LUEGO SE INTERRUMPIO SE CUBI
18.00	SUAVE	S	9999			FEW		DESPEJADO							SE REALIZO ALGUNAS OBSERVACIONES LUEGO SE INTERRUMPIO SE CUBI
18.30	SUAVE	S	9999			FEW		DESPEJADO							SE REALIZO ALGUNAS OBSERVACIONES LUEGO SE INTERRUMPIO SE CUBI
19.00	SUAVE	S	9999			SKC									SE REALIZO ALGUNAS OBSERVACIONES LUEGO SE INTERRUMPIO SE CUBI
19.30	SUAVE	S	9999			SKC									SE REALIZO ALGUNAS OBSERVACIONES LUEGO SE INTERRUMPIO SE CUBI
20.00	SUAVE	S	9999			SKC									SE REALIZO ALGUNAS OBSERVACIONES LUEGO SE INTERRUMPIO SE CUBI
20.30	SUAVE	S	9999			SKC									SE REALIZO ALGUNAS OBSERVACIONES LUEGO SE INTERRUMPIO SE CUBI
21.00	SUAVE	S	9999			SKC									SE REALIZO ALGUNAS OBSERVACIONES LUEGO SE INTERRUMPIO SE CUBI
22.00	SUAVE	S	9999			SKC									SE REALIZO ALGUNAS OBSERVACIONES LUEGO SE INTERRUMPIO SE CUBI
23															SE REALIZO ALGUNAS OBSERVACIONES LUEGO SE INTERRUMPIO SE CUBI
24															SE REALIZO ALGUNAS OBSERVACIONES LUEGO SE INTERRUMPIO SE CUBI
<b>ABREBIATURAS - OACI</b>															
NUBOSIDAD: SKC (Despejado 0/8) FEW (Pocos 1-2/8) SCT (Dispersos 3-4/8) BKN (Fraccionado 5-7/8) OVC (Cubierto 8/8) VIS RWY (I) U (EN AUMENTO) D (DISMINUYE) N (SIN CAMBIO) TEMPERATURA (T-T*) M (Para indicar < 0 °C) INDICADORES DE TENDENCIA (TT) FM (Desde - Inicio) AT (a) TL (Hasta - fin)															
<b>TOTAL</b>															
HORAS EVAPORACION OBSERVACION															
SOL 1200 2400															
PRECIPITACION															
PRESION (QFE) 1200 00.00 TOTAL															
HUMEDAD Minima Maxima															
TEMPERATURA Minima Maxima															

### OBSERVACIONES METEOROLOGICAS HORARIAS DE SUPERFICIE

HORA (UTC)	VIENTO (KM)		VISIBILIDAD		TIEMPO PRESENTE	NUBOSIDAD			TEMPERATURA (°C)			H.R. (%)	PRESION (hp a)		PRONOSTICO DE TENDENCIA (2 horas) BEMG/TEMPO NOSIG
	ddd	ff	VVVVVv	DDDD/VV/Vv		W W	Nh/Nh/Nh/hh/hh	Nh/Nh/Nh/hh/hh	Nh/Nh/Nh/hh/hh	T T	B H		Td Td	QNH	
00															
01															
02															
03															
04															
05															
06															
07															
08															
09	SUAVE		9999				BKN								
10	SUAVE		9999				SCT								
11	SUAVE		9999				SCT								
12	SUAVE		9999				SCT								
13.00	SUAVE		9999				SCT								
14.00	SUAVE		9999				SCT								
15.00	SUAVE		9999				SCT								
16.00	MODERADO		9999				BKN								
17.00	MODERADO		9999				BKN								
18.00	MODERADO		9999				BKN								
19.00	MODERADO		9999				BKN								
20.00	MODERADO		9999				BKN								
21.00	MODERADO		9999				BKN								
22.00	MODERADO		9999				BKN								
23															
24															
<b>ABREVIATURAS - OACI</b>															
NUBOSIDAD: SKC (Despejado) 018 FEW (Pocos 1-2/8) SCT (Dispersos 3-4/8) BKN (Fraccionado 5-7/8) OVC (Cubierto 8/8) VIS RWY: (I) U (EN AUMENTO) D (DISMINUYE) N (SIN CAMBIO) TEMPERATURA: (T°) M (Para indicar < 0 °C) INDICADORES DE TENDENCIA: (TT) FM (Desde - Inicio) AT (a) TL (Hasta - fin)															
TOTAL															
MEDIA															
TEMPERATURA															
Maxima															
Minima															
HUMEDAD															
Maxima															
Minima															
PRESION (QFE)															
Maxima															
Minima															
PRECIPITACION															
1200															
1800															
00 00															
TOTAL															
HORAS															
EVAPORACION															
OBSERVACION															
SOL															
1200															
2400															

### OBSERVACIONES METEOROLOGICAS HORARIAS DE SUPERFICIE

HORA (UTC)	VIENTO (KM)		VISIBILIDAD		TIEMPO PRESENTE	NUBOSIDAD				TEMPERATURA (°C)				H.R. (%)	PRESION (hp a)			PROMOSTICO DE TENDENCIA (2 horas)			
	ddd	ff	VVVVDv	VVVVVdZ		W	Ni	Nn	Nsh	h	T	T	B		H	T d	T d		QNH	QFE	QPP
00																					
01																					
02																					
03																					
04																					
05																					
06																					
07																					
08																					
09	MODERADC	S	9999							BKN	DENSA										
10	MODERADC	S	9999							BKN	DENSA										
11	MODERADC	S	9999							BKN	DENSA										
12	MODERADC	S	9999							BKN	DENSA										
13.00	SUAVE		9999							SCT	MODERADA										
13.30	SUAVE		9999							SCT	MODERADA										
14.00	MODERADC	S	9999							BKN	DENSA										
14.30	MODERADC	S	9999							BKN	DENSA										
15.00	MODERADC	S	9999							BKN	DENSA										
15.30	MODERADC	S	9999							BKN	DENSA										
16.00	MODERADC	S	9999							BKN	DENSA										
16.30	MODERADC	S	9999							BKN	DENSA										
17.00	MODERADC	S	9999							BKN	DENSA										
17.30	MODERADC	S	9999							BKN	DENSA										
18.00	MODERADC	S	9999							BKN	DENSA										
18.30	MODERADC	S	9999							BKN	DENSA										
19.00	SUAVE		9999							SCT	MODERADA										
19.30	MODERADC	S	9999							BKN	DENSA										
20.00	MODERADC	S	9999							BKN	DENSA										
20.30	MODERADC	S	9999							BKN	DENSA										
21.00	MODERADC	S	9999							BKN	DENSA										
22.00	MODERADC	S	9999							BKN	DENSA										
23																					
24																					
<b>ABREVIATURAS - OACI</b>																					
NUBOSIDAD: SKC (Despejado) 018 FEW (Pocos 1-28) SCT (Dispersos 3-4/8) BKN (Fraccionado 5-7/8) OVC (Cubierto 8/8) VIS RWY: ( ) U (EN AUMENTO) D (DISMINUYE) N (SIN CAMBIO) TEMPERATURA: (T-T*) M (Para indicar < 0 °C) INDICADORES DE TENDENCIA: (T) FM (Desde - Inicio) AT (a) TL (Hacia - fm)																					
TOTAL																					
TEMPERATURA: Maxima Humedad Minima PRESION (QFE): Maxima Precipitacion HORAS EVAPORACION: SOL 1200 2400																					

### OBSERVACIONES METEOROLOGICAS HORARIAS DE SUPERFICIE

HORA (UTC)	VIENTO (KM)		VISIBILIDAD		TIEMPO PRESENTE	NUBOSIDAD			TEMPERATURA (°C)			H.R. (%)	PRESION (hp a)			PROMOSTICO DE TENDENCIA (2 horas)	
	ddd	ff	vvvvdv	RCDv/Vv/Vv		N	Nh	Nhh	T	B	H		QNH	QFE	QPP.P.P.P.		BEMG
00																	
01																	
02																	
03																	
04																	
05																	
06																	
07																	
08																	
09	MODERAD	S	9999														
10	MODERAD	S	9999														
11	MODERAD	S	9999														
12	MODERAD	S	9999														
13.00	MODERAD	S	9999														
13.30	MODERAD	S	9999														
14.00	MODERAD	S	9999														
14.30	MODERAD	S	9999														
15.00	MODERAD	S	9999														
15.30	MODERAD	S	9999														
16.00	MODERAD	S	9999														
16.30	MODERAD	S	9999														
17.00	MODERAD	S	9999														
17.30	MODERAD	S	9999														
18.00	MODERAD	S	9999														
18.30	MODERAD	S	9999														
19.00	MODERAD	S	9999														
19.30	MODERAD	S	9999														
20.00	MODERAD	S	9999														
20.30	MODERAD	S	9999														
21.00	MODERAD	S	9999														
22.00	MODERAD	S	9999														
23																	
24																	
<b>ABREVIATURAS - OACI</b>																	
NUBOSIDAD: SKC (Despejado 0/8 FEW (Pocos 1-2/8) SCT (Dispersos 3-4/8) BKN (Fracsado 5-7/8) OVC (Cubierto 8/8)) VIS RWY: (I) U (EN AUMENTO) D (DISMINUYE) N (SIN CAMBIO) TEMPERATURA: (T-T*) M (Para indicar < 0 °C) INDICADORES DE TENDENCIA: (T) FM (Desde - Inicio) AT (a) TL (Hasta - fin)																	
TOTAL																	
TEMPERATURA: Maxima Minima Humedad Maxima Minima Presion (QFE) Maxima Minima Precipitacion HORAS EVAPORACION: SOL 1200 2400																	

### OBSERVACIONES METEOROLOGICAS HORARIAS DE SUPERFICIE

HORA (UTC)	VIENTO (KM)		VISIBILIDAD		TIEMPO PRESENTE	NUBOSIDAD				TEMPERATURA (°C)				H.R. (%)	PRESION (hp.a)			PRONOSTICO DE TENDENCIA (2 horas)					
	ddd	ff	VVVVd	VVVVVdDz		W' W'	Nn	Nn	Nn	Nn	T	T	B		H	T d	T d		QNH	QFE	BEMG	TEMPO	NOSIG
00																							
01																							
02																							
03																							
04																							
05																							
06																							
07																							
08																							
09	MODERAD	S		9999						BKN													
10	MODERAD	S		9999						BKN													
11	MODERAD	S		9999						BKN													
12	MODERAD	S		9999						BKN													
13.00	MODERAD	S		9999						BKN													
13.30	MODERAD	S		9999						BKN													
14.00	MODERAD	S		9999						BKN													
14.30	MODERAD	S		9999						BKN													
15.00	MODERAD	S		9999						BKN													
15.30	MODERAD	S		9999						BKN													
16.00	MODERAD	S		9999						BKN													
16.30	MODERAD	S		9999						BKN													
17.00	MODERAD	S		9999						BKN													
17.30	MODERAD	S		9999						BKN													
18.00	MODERAD	S		9999						BKN													
18.30	MODERAD	S		9999						BKN													
19.00	MODERAD	S		9999						BKN													
19.30	MODERAD	S		9999						BKN													
20.00	MODERAD	S		9999						BKN													
20.30	MODERAD	S		9999						BKN													
21.00	MODERAD	S		9999						BKN													
22.00	MODERAD	S		9999						BKN													
23																							
24																							
<b>ABREVIATURAS - OACI</b>																					HORAS EVAPORACION OBSERVACION		
																					SOL		
																					1200		
																					2400		
																					PRECIPITACION		
																					1200		
																					1800		
																					00.00		
																					TOTAL		
																					MEDIA		
																					TEMPERATURA		
																					Maxima		
																					Minima		
																					HUMEDAD		
																					Maxima		
																					Minima		
																					PRESION (QFE)		
																					Maxima		
																					Minima		
																					TOTAL		
																					1200		
																					1800		
																					00.00		
																					TOTAL		

NUBOSIDAD: SKC (Despejado) 08 FEW (Pocos 1-28) SCT (Dispersos 3-4/8) BKN (Fraccionado 5-7/8) OVC (Cubierto 8/8)  
 VIS RMY (I) U (EN AUMENTO) D (DISMINUYE) N (SIN CAMBIO)  
 TEMPERATURA (T-T') M (Para indicar < 0 °C)  
 INDICADORES DE TENDENCIA (TT) FM (Desde - inicio) AT (a) TL (Hasta - fin)



### OBSERVACIONES METEOROLOGICAS HORARIAS DE SUPERFICIE

HORA (UTC)	VIENTO (KM)		VISIBILIDAD		TIEMPO PRESENTE	NUBOSIDAD		TEMPERATURA (°C)			H.R. (%)	PRESION (hp a)		PRONOSTICO DE TENDENCIA (2 horas)
	ddd	fr	Gf/mf	VVVVVV		RD>Dv/VA VA Vars	Nr/Ns/Nb/h/bh/s	Nr/Ns/Nb/h/bh/s	T.T.	B.H		T'd T'd	QNH	
00														
01														
02														
03														
04														
05														
06														
07														
08														CUBIERTO MAL TIEMPO PARA OBSERVACIONES
09	MODERAD	S	9999											
10	MODERAD	S	9999			BKN	DENSA							
11	MODERAD	S	9999			BKN	DENSA							
12	MODERAD	S	9999			BKN	DENSA							
13.00	MODERAD	S	9999			BKN	DENSA							
13.30	MODERAD	S	9999			BKN	DENSA							
14.00	MODERAD	S	9999			BKN	DENSA							
14.30	MODERAD	S	9999			BKN	DENSA							
15.00	MODERAD	S	9999			BKN	DENSA							
15.30	MODERAD	S	9999			BKN	DENSA							
16.00	MODERAD	S	9999			BKN	DENSA							
16.30	MODERAD	S	9999			BKN	DENSA							
17.00	MODERAD	S	9999			BKN	DENSA							
17.30	MODERAD	S	9999			BKN	DENSA							
18.00	MODERAD	S	9999			BKN	DENSA							
18.30	MODERAD	S	9999			BKN	DENSA							
19.00	MODERAD	S	9999			BKN	DENSA							
19.30	MODERAD	S	9999			BKN	DENSA							
20.00	MODERAD	S	9999			BKN	DENSA							
20.30	MODERAD	S	9999			BKN	DENSA							
21.00	MODERAD	S	9999			BKN	DENSA							
22.00	MODERAD	S	9999			BKN	DENSA							
23														
24														
<b>ABREBIATURAS - OACI</b>														
TOTAL														
MEDIA														
TEMPERATURA														
Minima														
Maxima														
HUMEDAD														
Minima														
Maxima														
PRESION (QFE)														
Minima														
Maxima														
PRECIPITACION														
1200														
1800														
00.00														
TOTAL														
HORAS														
EVAPORACION														
SOL														
1200														
2400														

NUBOSIDAD: SKC (Despejado) 08 FEW (Pocos 1-2/8) SCT (Dispersos 3-4/8) BKN (Fraccionado 5-7/8) OVC (Cubierto 8/8)  
 VIS RWY: (I) U (EN AUMENTO) D (DISMINUYE) N (SIN CAMBIO)  
 TEMPERATURA: (T\*\*\*) M (Para indicar < 0 °C)  
 INDICADORES DE TENDENCIA: (TT) FM (Desde - Inicio) AT (a) TL (Hacia - fin)

## OBSERVACIONES METEOROLOGICAS HORARIAS DE SUPERFICIE

HORA (UTC)	VIENTO (KM)		VISIBILIDAD		TIEMPO PRESENTE		NUBOSIDAD				TEMPERATURA (°C)				H.R. (%)		PRESION (hp a)		PRONOSTICO DE TENDENCIA (2 horas)					
	ddd	ff	Gf/mf	VVVVVVdDx	W W	NnNNhchthh	NnNNhchthh	NnNNhchthh	T T	B H	Td Td	HR	QNH	QFE	BEMG/TEMPO NOSIG									
00																								
01																								
02																								
03																								
04																								
05																								
06																								
07																								
08																								
09	SUAVE	09		9999				BKN020																
09.30	SUAVE			9999				BKN020																
10.00	SUAVE			9999				BKN020																
10.30	MODERADO			9999				BKN020																
11.00	MODERADQ	RAFAGA		9999				BKN020																
11.30	SUAVE			9999				BKN020																
12.00	MODERADO			9999				SCT040																
12.30	MODERADQ	RAFAGA		9999				FEW050																
13.00	MODERADQ	RAFAGA		9999				FEW050																
13.30	SUAVE	RAFAGA		9999				FEW050																
14.00	SUAVE	RAFAGA		9999				FEW050																
14.30	MODERADQ	S		9999				BKN																
15.00	MODERADQ	S		9999				BKN																
15.30	MODERADQ	S		9999				BKN																
16.00	MODERADQ	S		9999				BKN																
16.30	MODERADQ	S		9999				BKN																
17.00	MODERADQ	S		9999				BKN																
17.30	MODERADQ	S		9999				BKN																
18.00	MODERADQ	S		9999				BKN																
18.30	MODERADQ	S		9999				BKN																
19.00	MODERADQ	S		9999				BKN																
19.30	MODERADQ	S		9999				BKN																
20.00	MODERADQ	S		9999				BKN																
20.30	MODERADQ	S		9999				BKN																
21.00	MODERADQ	S		9999				BKN																
22.00	MODERADQ	S		9999				BKN																
23																								
24																								
<b>ABREVIATURAS - OACI</b>															HORAS EVAPORACION		OBSERVACION							
															SOL		1200		2400					
															TEMPERATURA		HUMEDAD		PRECIPITACION					
															Minima		Maxima		Minima		Maxima		TOTAL	

NUBOSIDAD: SKC (Despejado 0/6) FEW (Pocos 1-2/8) SCT (Dispersos 3-4/8) BKN (Fraccionado 5-7/8) OVC (Cubierto 8/8)

VIS RWY (I) U (EN AUMENTO) D (DISMINUYE) N (SIN CAMBIO)

TEMPERATURA (T-TT) M (Para indicar < 0 °C)

INDICADORES DE TENDENCIA: (TT) J, FM (Desde - Inicio), AT (a), TL (Hasta - fin)

**OBSERVACIONES METEOROLOGICAS HORARIAS DE SUPERFICIE**

HORA (UTC)	VIENTO (KM)		VISIBILIDAD		TIEMPO PRESENTE	NUBOSIDAD			TEMPERATURA (°C)			HR. (%)	PRESION (tp. a)		PRONOSTICO DE TENDENCIA (2 horas) BEMG/TEMPO NOSIG	
	ddd	ff	VVVVVdV	VVVVVdVd		W' W'	Ni/Ni/Nh/hh/hs	Ni/Ni/Nh/hh/hs	Ni/Ni/Nh/hh/hs	T T	B H		Td Td	QNH		QFE
00																
01																
02																
03																
04																
05																
06																
07																
08																
09						SN										
09.30						SN										
10.00						SN										
10.00						SN										
11.00						SN										
11.30						SN										
12.00						SN										
12.30						SN										
13.00						SN										
13.30						SN										
14.00						SN										
14.30						SN										
15.00						SN										
15.30						SN										
16.00						SN										
16.30						SN										
17.00						SN										
17.30						SN										
18.00						SN										
18.30						SN										
19.00						SN										
19.30						SN										
20.00						SN										
20.30						SN										
21.00						SN										
22.00																
23																
24																
<b>ABREVIATURAS - OACI</b>																
NUBOSIDAD SKC (Despejado 0/8) FEW (Pocos 1-2/8) SCT (Dispersos 3-4/8) BKN (Fraccionado 5-7/8) OVC (Cubierta 8/8)																
VIS RWY: (I) U (EN AUMENTO) D (DISMINUYE) N (SIN CAMBIO)																
TEMPERATURA: (T-T') M (Para indicar < 0 °C)																
INDICADORES DE TENDENCIA: (T) FM (Desde - Inicio) AT (a) TL (Hacia - fin)																
HORAS EVAPORACION OBSERVACION																
SOL 1200 2400																
PRECIPITACION																
Minima Maxima 1200 1800 00.00 TOTAL																

### OBSERVACIONES METEOROLOGICAS HORARIAS DE SUPERFICIE

HORA (UTC)	VIENTO (KM)		VISIBILIDAD		TIEMPO PRESENTE	NUBOSIDAD			TEMPERATURA (°C)			H.R. (%)	PRESION (tp.a)		PRONOSTICO DE TENDENCIA (2 horas) BEMG/TEMPO NOSIG										
	ddd	ff	VVVVdV	vvvvvvdv		W	N <sub>1</sub> N <sub>2</sub> N <sub>3</sub> h <sub>1</sub> h <sub>2</sub> h <sub>3</sub>	N <sub>4</sub> N <sub>5</sub> N <sub>6</sub> h <sub>1</sub> h <sub>2</sub> h <sub>3</sub>	N <sub>7</sub> N <sub>8</sub> N <sub>9</sub> h <sub>1</sub> h <sub>2</sub> h <sub>3</sub>	T	T		B	H		Td	Td	QNH	QFE	QRP	P.P.	PPPP			
00																									
01																									
02																									
03																									
04																									
05																									
06																									
07																									
08																									
09																									
09.30										SN	CUBIERTO														
10.00										SN	CUBIERTO														
10.00										SN	CUBIERTO														
11.00										SN	CUBIERTO														
11.30										SN	CUBIERTO														
12.00										SN	CUBIERTO														
12.30										SN	CUBIERTO														
13.00										SN	CUBIERTO														
13.30										SN	CUBIERTO														
14.00										SN	CUBIERTO														
14.30										SN	CUBIERTO														
15.00										SN	CUBIERTO														
15.30										SN	CUBIERTO														
16.00										SN	CUBIERTO														
16.30										SN	CUBIERTO														
17.00										SN	CUBIERTO														
17.30										SN	CUBIERTO														
18.00										SN	CUBIERTO														
18.30										SN	CUBIERTO														
19.00										SN	CUBIERTO														
19.30										SN	CUBIERTO														
20.00										SN	CUBIERTO														
20.30										SN	CUBIERTO														
21.00										SN	CUBIERTO														
22.00										SN	CUBIERTO														
23																									
24																									
<b>ABREVIATURAS - OACI</b>																HORAS EVAPORACION OBSERVACION									
																SOL	1200	2400							
																TEMPERATURA		HUMEDAD		PRESION (QFE)		PRECIPITACION			
																Minima	Maxima	Minima	Maxima	Minima	Maxima	1200	1800	00:00	TOTAL

NUBOSIDAD SKC (Despejado 0/8 F EW (Pocos 1-2/8) SCT (Dispersos 3-4/8) BKN (Fraccionado 5-7/8) OVC (Cubierto 8/8))  
 VIS RWY (I) U (EN AUMENTO) D (DISMINUYE) N (SIN CAMBIO)  
 TEMPERATURA (T-T) M ( Para indicar < 0 °C )  
 INDICADORES DE TENDENCIA (TT) FM ( Desde - Inicio ) AT (a) TL ( Hasta - fin )

### OBSERVACIONES METEOROLOGICAS HORARIAS DE SUPERFICIE

HORA (UTC)	VIENTO (KM)			VISIBILIDAD		TIEMPO PRESENTE	NUBOSIDAD				TEMPERATURA (°C)			H.R. (%)	PRESION (tp a)		PRONOSTICO DE TENDENCIA (2 horas) BEMGTEMPO NOSIG	
	ddd	ff	G/mfm	VVVVVdV	VVVVVVdVx		Ww	Nn	Nn	Nn	T.T	B.H	Td		Td	QNH		QFE
00																		
01																		
02																		
03																		
04																		
05																		
06																		
07																		
08																		
09																		
09.30																		
10.00																		
10.00																		
11.00																		
11.30																		
12.00																		
12.30																		
13.00																		
13.30																		
14.00																		
14.30																		
15.00																		
15.30																		
16.00																		
16.30																		
17.00																		
17.30																		
18.00																		
18.30																		
19.00																		
19.30																		
20.00																		
20.30																		
21.00																		
22.00																		
23																		
24																		
<b>ABREVIATURAS - OACI</b>																		
TOTAL																		
SOL 1200 2400																		
MEDIA																		
TEMPERATURA HUMEDAD PRESION (QFE) PRECIPITACION																		
Minima Maxima Minima Maxima Minima Maxima 1200 1800 00.00 TOTAL																		

NUBOSIDAD SKC (Despejado 0/8 FEW (Pocos 1-2/8) SCT (Dispersos 3-4/8) BKN (Fraccionado 5-7/8) OVC (Cubierto 8/8))  
 VIS RWY (I) U (EN AUMENTO) D (DISMINUYE) N (SIN CAMBIO)  
 TEMPERATURA (T-T') M (Para indicar < 0 °C)  
 INDICADORES DE TENDENCIA (T) FM (Desde - Inicio) AT (a) TL (Hasta - fin)

**OBSERVACIONES METEOROLOGICAS HORARIAS DE SUPERFICIE**

HORA (UTC)	VIENTO (KT)		VISIBILIDAD		TIEMPO PRESENTE	NUBOSIDAD				TEMPERATURA (°C)			H.R. (%)	PRESION (hp a)			PRONOSTICO DE TENDENCIA (2 horas)							
	ddd	ff	VVVVdV	vvvvvvxóx		W	Nd	Ni	Nh	h	T	B		H	Td	Td	QNH	QFE	BEMG	TEMPO	NOSIG			
00																								
01																								
02																								
03																								
04																								
05																								
06																								
07																								
08																								
09	220	24	3000						OVC015															
09.30																								
10.00	200	24	3000						OVC015															
10.00																								
11.00	210	24	3000						OVC015															
11.30																								
12.00	180	24	0200		SN				VV///								985.0							
12.30																								
13.00	220	25	0200		SN				VV///									985.7						
13.30																								
14.00	250	24	0100		SN				VV//									986.2						
14.30																								
15.00	250	24	0200		SN				VV//									987.0						
15.30																								
16.00	210	28	3000						SCT015	OVC025								987.5						
16.30																								
17.00	220	24	3000						OVC015									988.5						
17.30	220	24	3000						OVC015															
18.00	210	26	5000						OVC015															
18.30																								
19.00	200	24	5000						OVC015															
19.30																								
20.00	170	26	7000						OVC012									991.0						
20.30																								
21.00	220	24	3000						OVC015									991.5						
22.00	220	24	3000						OVC015									993.0						
23																								
24																								
<b>ABREVIATURAS - OACI</b>													HORAS		EVAPORACION		OBSERVACION							
TOTAL													SOL		1200		2400							
MEDIA													TEMPERATURA		HUMEDAD		PRESION (QFE)		PRECIPITACION					
Minima													Maxima		Minima		Maxima		1200		00.00		TOTAL	

NUBOSIDAD: SKC (Despejado) 0/8 FEW (Pocos 1-2/8) SCT (Dispersos 3-4/8) BKN (Fraccionado 5-7/8) OVC (Cubierto 8/8)

VIS RWY (I) U (EN AUMENTO) D (DISMINUYE) N (SIN CAMBIO)

TEMPERATURA: (T-T) M (Para indicar < 0 °C)

INDICADORES DE TENDENCIA: (T) FM (Desde - Inicio) AT (a) TL (Hasta - fin)

OBSERVACIONES METEOROLOGICAS HORARIAS DE SUPERFICIE

HORA (UTC)	VIENTO (KT)		VISIBILIDAD		TIEMPO PRESENTE	NUBOSIDAD						TEMPERATURA (°C)			H.R. (%)	PRESION (hp a)			PRONOSTICO DE TENDENCIA (2 horas)				
	ddd	ff	G/mf/m	VVVV Dv		RRJJVVVVV	Ww	Ni	Nh	Nb	h	bs	ts	tt		B	H	Td		Td	QNH	QFE	BEMG/TEMPO NOSIG
00																							
01																							
02																							
03																							
04																							
05																							
06																							
07																							
08																							
09																							
09.30																							
10.00																							
10.00																							
11.00																							
11.30																							
12.00																							
12.30																							
13.00	200	18	30	9000		FEW010														1002 0	VIENTOS INTENSOS CON RAFAZGAS DE MAS DE 30 KT NUBOSIDAD TIPO ESTRATO		
13.30																							
14.00																							
14.30																							
15.00																							
15.30																							
16.00																							
16.30																							
17.00																							
17.30																							
18.00																							
18.30																							
19.00																							
19.30																							
20.00																							
20.30																							
21.00																							
22.00																							
23																							
24																							
TOTAL																		HORAS EVAPORACION OBSERVACION					
												MEDIA			SOL			1200			2400		
												TEMPERATURA			HUMEDAD			PRECIPITACION					
												Minima			Maxima			Minima			Maxima		
												Maxima			Maxima			1200			00.00		
																					TOTAL		

ABREVIATURAS - OACI

NUBOSIDAD SKC (Despejado) 0/8 FEW (Pocos 1-2/8) SCT (Dispersos 3-4/8) BKN (Fraccionado 5-7/8) OVC (Cubierto 8/8)  
 VIS RWY (I) U (ENALUMENTO) D (DISMINUYE) N (SIN CAMBIO)  
 TEMPERATURA (T\*°T) M (Para indicar < 0 °C)  
 INDICADORES DE TENDENCIA (TT) FM (Desde - Inicio) AT (a) TL (Hasta - fin)

### OBSERVACIONES METEOROLOGICAS HORARIAS DE SUPERFICIE

HORA (UTC)	VIENTO (KT)		VISIBILIDAD		TIEMPO PRESENTE		NUBOSIDAD				TEMPERATURA (°C)				H.R. (%)		PRESION (hp a)		PRONOSTICO DE TENDENCIA (2 horas)																																																																																																																					
	ddd	ff	G	V	W	W	N	N	N	N	T	B	T	T	HR	QNH	QFE	B	M	S																																																																																																																				
																					OP	P	P	P																																																																																																																
00																																																																																																																																								
01																																																																																																																																								
02																																																																																																																																								
03																																																																																																																																								
04																																																																																																																																								
05																																																																																																																																								
06																																																																																																																																								
07																																																																																																																																								
09	000	00											3.0	3.2	2.9																																																																																																																									
10.00	000	00											3.3	3.2	3.0																																																																																																																									
11.00	000	00											4.0	3.8	3.5																																																																																																																									
12.00	220	08											4.6	4.1	3.5																																																																																																																									
13.00	000	00											5.2	5.1	4.7																																																																																																																									
14.00	000	00											5.8	5.3	4.7																																																																																																																									
15.00	280	10											4.9	4.2	3.5																																																																																																																									
16.00	300	12											4.1	3.9	3.6																																																																																																																									
17.00	310	05											6.2	5.4	4.7																																																																																																																									
18.00	000	00											7.3	7.1	7.0																																																																																																																									
19.00	230	15											5.6	5.3	4.9																																																																																																																									
20.00	320	04											5.0	5.0	5.0																																																																																																																									
21.00	240	06											5.4	5.1	4.8																																																																																																																									
22.00	240	24	35										3.2	3.2	3.2																																																																																																																									
23																																																																																																																																								
24																																																																																																																																								
<b>ABREVIATURAS - OACI</b>																																																																																																																																								
NUBOSIDAD: SK C (Despejado 0/8) FEW (Pocos 1-2/8) SCT (Dispersos 3-4/8) BKN (Fraccionado 5-7/8) OVC (Cubierta 8/8) V/S RWY: (I) U (EN AUMENTO) D (DISMINUYE) N (SIN CAMBIO) TEMPERATURA: (T-TT) M (Para indicar < 0 °C) INDICADORES DE TENDENCIA: (TT) FM (Desde - Inicio) AT (a) TL (Hasta - fin)																																																																																																																																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="12"></td> <td colspan="2" style="text-align: center;">TOTAL</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">67.6</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">59.0</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">1341.0</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">HORAS EVAPORACION OBSERVACION</td> </tr> <tr> <td colspan="12"></td> <td colspan="2" style="text-align: center;">MEDIA</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">4.8</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">4.2</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">95.8</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">17.1</td> </tr> <tr> <td colspan="12"></td> <td colspan="2" style="text-align: center;">TEMPERATURA</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">HUMEDAD</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">PRECIPITACION</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">PRECISION (QFE)</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">PRECIPITACION</td> </tr> <tr> <td colspan="12"></td> <td colspan="2" style="text-align: center;">Minima</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">Maxima</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">Minima</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">Maxima</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">1200</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">00.00</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">TOTAL</td> </tr> <tr> <td colspan="12"></td> <td colspan="2" style="text-align: center;">-1</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">7.7</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">90</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">100</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">0.0</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">0.0</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">0.0</td> </tr> </table>																															TOTAL		67.6		59.0		1341.0		HORAS EVAPORACION OBSERVACION														MEDIA		4.8		4.2		95.8		17.1														TEMPERATURA		HUMEDAD		PRECIPITACION		PRECISION (QFE)		PRECIPITACION														Minima		Maxima		Minima		Maxima		1200		00.00		TOTAL														-1		7.7		90		100		0.0		0.0		0.0	
												TOTAL		67.6		59.0		1341.0		HORAS EVAPORACION OBSERVACION																																																																																																																				
												MEDIA		4.8		4.2		95.8		17.1																																																																																																																				
												TEMPERATURA		HUMEDAD		PRECIPITACION		PRECISION (QFE)		PRECIPITACION																																																																																																																				
												Minima		Maxima		Minima		Maxima		1200		00.00		TOTAL																																																																																																																
												-1		7.7		90		100		0.0		0.0		0.0																																																																																																																



### OBSERVACIONES METEOROLOGICAS HORARIAS DE SUPERFICIE

HORA (UTC)	VIENTO (KM)		VISIBILIDAD		TIEMPO PRESENTE		NUBOSIDAD				TEMPERATURA (°C)			H.R. (%)		PRESION (hp a)		PRONOSTICO DE TENDENCIA (2 horas)					
	ddd	ff	Gfmfm	VVVVdV	vvvvvvdv	W	W	N	N	N	N	N	N	B	H	T	Td	QNH	QFE	BEMG/TEMPO NOSIG			
00																							
01																							
02																							
03																							
04																							
05																							
06																							
07																							
08																							
09	230	20	35	9999									1.8	1.6	1.4								
10.00	270	15		9999									1.7	1.6	1.5								
11.00	220	10		9999									2.9	2.8	2.5								
12.00	240	08		9999									2.9	2.8	2.5								
13.00	110	10		9999									2.5	2.5	100								
14.00	000	00		9999									3.2	3.2	100								
15.00	230	12		9999									2.8	2.8	100								
16.00	240	15		9999									2.9	2.8	2.7								
17.00	220	15	30	9999									5.0	3.0	0.7								
18.00	040	14		9999									4.3	2.4	0.2								
19.00	000	00		9999									4.4	2.4	0.0								
20.00	130	06		9999									5.4	3.0	0.1								
21.00	130	12		9999									4.8	2.8	0.5								
22.00	000	00		9999									4.0	2.2	0.1								
23																							
24																							
<b>ABREBIATURAS - OACI</b>												TOTAL		48.6	35.9	312.2	1223.0			HORAS EVAPORACION		OBSERVACION	
												MEDIA		3.5	2.6	22.3	87.4			SOL		2400	
												TEMPERATURA		HUMEDAD		PRESION (QFE)		PRECIPITACION					
												Minima		Minima		Minima		1200		1800		00.00	
												0.5		68		100		0.0		0.0		0.0	
												Maxima		Maxima		Maxima		1200		1800		00.00	
												8.0		68		100		0.0		0.0		0.0	

NUBOSIDAD: SKC (Despejado 0/8) FEW (Pocos 1-2/8) SCT (Dispersos 3-4/8) BKN (Fraccionado 5-7/8) OVC (Cubierto 8/8)

VIS RWY (I) U (EN AUMENTO) D (DISMINUYE) N (SIN CAMBIO)

TEMPERATURA (T-T) M ( Para indicar < 0 °C )

INDICADORES DE TENDENCIA (TT) FM ( Desde - Inicio ) AT (a) TL ( Hasta - fin )

### OBSERVACIONES METEOROLOGICAS HORARIAS DE SUPERFICIE

HORA (UTC)	VIENTO (KM)		VISIBILIDAD		TIEMPO PRESENTE		NUBOSIDAD				TEMPERATURA (°C)			HR (%)	PRESION (hp a)		PRONOSTICO DE TENDENCIA (2 horas)																																																																																																									
	ddd	ff	Gf	fm	W	W	N	N	N	N	N	N	B		H	T		Td	QNH	QFE	BEMG/TEMPO NOSIG																																																																																																					
00																																																																																																																										
01																																																																																																																										
02																																																																																																																										
03																																																																																																																										
04																																																																																																																										
05																																																																																																																										
06																																																																																																																										
07																																																																																																																										
08																																																																																																																										
09	000	00																																																																																																																								
10.00	000	00																																																																																																																								
11.00	000	00																																																																																																																								
12.00	000	00																																																																																																																								
13.00	000	00																																																																																																																								
14.00	000	00																																																																																																																								
15.00	080	04																																																																																																																								
16.00	000	00																																																																																																																								
17.00	000	00																																																																																																																								
18.00	280	08																																																																																																																								
19.00	260	05																																																																																																																								
20.00	000	00																																																																																																																								
21.00	000	00																																																																																																																								
22.00	000	00																																																																																																																								
23																																																																																																																										
24																																																																																																																										
207	001																																																																																																																									
<b>ABREVIATURAS - OACI</b>																																																																																																																										
NUBOSIDAD SKC (Despejado 0/8 FEW (Pocos 1-2/8) SCT (Dispersos 3-4/8) BKN (Fraccionado 5-7/8) OVC (Cubierta 8/8)) VIS RWY: (I) U (EN AUMENTO) D (DISMINUYE) N (SIN CAMBIO) TEMPERATURA (T*T*) M (Para indicar < 0 °C) INDICADORES DE TENDENCIA (TT) FM (Desde - Inicio) AT (a) TL (Hasta - fin)																																																																																																																										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="12">TOTAL</td> <td>004</td> <td>004</td> <td>003</td> <td>45.6</td> <td>1365.0</td> <td colspan="3">HORAS EVAPORACION/OBSERVACION</td> </tr> <tr> <td colspan="12">MEDIA</td> <td>4.3</td> <td>3.6</td> <td>3.0</td> <td>91.0</td> <td colspan="3">SOL</td> <td>6.2</td> <td>1200</td> <td>2400</td> </tr> <tr> <td colspan="12">TEMPERATURA</td> <td colspan="2">HUMEDAD</td> <td colspan="2">PRECIPITACION</td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td colspan="12">Minima</td> <td>Maxima</td> <td>Minima</td> <td>Maxima</td> <td colspan="2">PRECIPITACION</td> <td colspan="3">TOTAL</td> </tr> <tr> <td colspan="12">0.2</td> <td>6.6</td> <td>84</td> <td>96</td> <td colspan="2">0.0</td> <td colspan="2">1200</td> <td colspan="2">00.00</td> <td colspan="2">0.0</td> </tr> </table>																			TOTAL												004	004	003	45.6	1365.0	HORAS EVAPORACION/OBSERVACION			MEDIA												4.3	3.6	3.0	91.0	SOL			6.2	1200	2400	TEMPERATURA												HUMEDAD		PRECIPITACION					Minima												Maxima	Minima	Maxima	PRECIPITACION		TOTAL			0.2												6.6	84	96	0.0		1200		00.00		0.0	
TOTAL												004	004	003	45.6	1365.0	HORAS EVAPORACION/OBSERVACION																																																																																																									
MEDIA												4.3	3.6	3.0	91.0	SOL			6.2	1200	2400																																																																																																					
TEMPERATURA												HUMEDAD		PRECIPITACION																																																																																																												
Minima												Maxima	Minima	Maxima	PRECIPITACION		TOTAL																																																																																																									
0.2												6.6	84	96	0.0		1200		00.00		0.0																																																																																																					

### OBSERVACIONES METEOROLOGICAS HORARIAS DE SUPERFICIE

HORA (UTC)	VIENTO (KM)		VISIBILIDAD		TIEMPO PRESENTE	NUBOSIDAD						TEMPERATURA (°C)			H.R. (%)	PRESION (hp a)			PRONOSTICO DE TENDENCIA (2 horas)											
	ddd	ff	GD	VV		W	Ni	Ni	Ni	Ni	Ni	Ni	Ni	T		B	H	Td		HR	QNH	QFE	OP	PP	PP	PP	PP	BE	MG	TEMPO
00																														
01																														
02																														
03																														
04																														
05																														
06																														
07																														
08																														
09	000	00																												
10.00	000	00																												
11.00	000	00																												
12.00	080	05																												
13.00	000	00																												
14.00	000	00																												
15.00	000	00																												
16.00	000	00																												
17.00	000	00																												
18.00	060	06																												
19.00	000	00																												
20.00	000	00																												
21.00	000	00																												
22.00	000	00																												
23																														
24																														
<b>ABREBIATURAS - OACI</b>												TOTAL		59.2	49.4	40.5	12/4.0	HORAS EVAPORACION			OBSERVACION									
												MEDIA		4.2	3.5	2.9	91.0	SOL			2400									
												TEMPERATURA		HUMEDAD		PRESION (QFE)		PRECIPITACION												
												Minima		0.4	6.7	84	97	Maxima		1200		00.00		TOTAL						
																		Minima		0.0		0.0		0.0						

NUBOSIDAD: SKC (Despejado 0/8 FEW (Pocos 1-2/8) SCT (Dispersos 3-4/8) BKN (Fraccionado 5-7/8) OVC (Cubierta 8/8)  
 VIS RWY (I) U (EN AUMENTO) D (DISMINUYE) N (SIN CAMBIO)  
 TEMPERATURA (T-TT) M (Para indicar < 0 °C)  
 INDICADORES DE TENDENCIA (TT) FM (Desde - Inicio) AT (Hasta - fin)

OBSERVACIONES METEOROLOGICAS HORARIAS DE SUPERFICIE

HORA (UTC)	VIENTO (KM)		VISIBILIDAD		TIEMPO PRESENTE	NUBOSIDAD						TEMPERATURA (°C)			H.R. (%)	PRESION (hp a)		PRONOSTICO DE TENDENCIA (2 horas) BEMG/TEMPO NOSIG		
	ddd	ff	Gfm	VVVVdV		vvvvvvdv	W	W	Ni	Ni	Ni	Ni	Ni	Ni		Ni	Ni		OP	OP
00																				
01																				
02																				
03																				
04																				
05																				
06																				
07																				
08																				
09	000	00			9999					FEW010				4.1	3.6	3.0	92			
10.00	000	00			9999					SC1020				5.9	5.6	5.3	96			
11.00	040	05			9999					SC1020				5.0	5.0	5.0	100			
12.00	000	00			9999					FEW020				8.2	7.8	7.4	95			
13.00	000	00			9999					FEW020				9.6	9.0	8.4	92			
14.00	050	10			9999					FEW020				9.8	8.0	6.3	78			
15.00	240	20			9999					FEW030				10.7	8.6	6.6	77			
16.00	220	22			9999					FEW030				10.0	8.4	6.9	81			
17.00	220	22	30		9999					SC1030				10.2	8.4	6.7	79			
18.00	220	22			9999					FEW015				9.8	8.2	6.6	81			
19.00	220	24			9999					FEW015				9.9	8.0	6.6	80			
20.00	220	20			9999					FEW015				9.8	8.3	6.8	82			
21.00	230	15	30		9999					FEW015				9.8	8.4	7.1	83			
22.00	220	18	28		9999					SKC				9.8	8.3	6.8	82			
23																				
24																				
TOTAL													122.6	105.6	89.5	1198.0	HORAS EVAPORACION		OBSERVACION	
MEC/A													8.8	7.5	6.4	85.6	SOL		2400	
TEMPERATURA													Maxima		Minima		PRECIPITACION		TOTAL	
													11.7	7.7	100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

ABREVIATURAS - OACI

NUBOSIDAD: SKC (Despejado 0/8) FEW (Pocos 1-2/8) SCT (Dispersos 3-4/8) BKN (Fraccionado 5-7/8) OVC (Cubierto 8/8)  
 VIS RWY (I) U (EN AUMENTO) O (DISMINUYE) N (SIN CAMBIO)  
 TEMPERATURA (T-T\*) M (Para indicar < 0 °C)  
 INDICADORES DE TENDENCIA (TT) FM (Desde - Inicio) AT (a) TL (Hasta - fin)

OBSERVACIONES METEOROLOGICAS HORARIAS DE SUPERFICIE

HORA (UTC)	VIENTO (km/h)		VISIBILIDAD		TIEMPO PRESENTE	NUBOSIDAD						TEMPERATURA (°C)			H.R. (%)	PRESION (hp a)		PRONOSTICO DE TENDENCIA (2 horas)			
	ddd	ff	VVVVV	DDVVVV		W	UUUUUU	UUUUUU	UUUUUU	UUUUUU	UUUUUU	UUUUUU	T	B		H	Td		Td	ONH	QFE
00																					
01																					
02																					
03																					
04																					
05																					
06																					
07																					
08																					
09	000	00	9999									5.4	5.2	4.9	92						
10.00	090	06	9999									6.2	6.1	6.0	99						
11.00	000	00	9999									6.8	6.4	6.0	94						
12.00	000	00	9999									6.2	6.1	6.0	99						
13.00	000	00	9999									7.5	6.5	5.4	87						
14.00	000	00	9999									8.6	7.8	7.2	91						
15.00	220	20	9999									8.9	8.0	7.2	89						
16.00	000	00	9999									10.0	8.7	7.3	83						
17.00	030	15	9999									11.3	8.7	6.1	71						
18.00	000	00	9999									9.4	7.2	4.9	73						
19.00	000	00	9999									8.4	7.1	5.8	84						
20.00	000	00	9999									7.8	6.0	4.0	72						
21.00	000	00	9999									6.9	5.4	3.7	80						
22.00	280	05	9999									6.0	4.9	3.6	85						
23																					
24																					
												TOTAL	109.4	94.1	78.1	1199.0	HORAS EVAPORACION OBSERVACION				
												MEDIA	7.8	6.7	5.6	85.6	SOL 1200 - 2400				
												TEMPERATURA					PRECIPITACION				
												Minima	Maxima	Minima	Maxima	1200 1800 00:00 TOTAL					
												-0.7	11.9	7.1	99	0.0 0.0 0.0 0.0					

ABREVIATURAS - OACI

NUBOSIDAD: SKC (Despejado 0-3) FEW (Pocos 1-2/8) SCT (Dispersos 3-4/8) BKN (Fracturados 5-7/8) OVC (Cubiertos 8/8)  
 VIS RWY (I) U (EN AUMENTO) D (DISMINUYE) N (SIN CAMBIO)  
 TEMPERATURA: (T\* T) M (Para indicar < 0 °C)  
 INDICADORES DE TENDENCIA: (T) FM (Desde - Inicio) A T (a) TL (Hasta - fin)

## OBSERVACIONES METEOROLOGICAS HORARIAS DE SUPERFICIE

HORA (UTC)	VIENTO (KM)		VISIBILIDAD		TIEMPO PRESENTE	NUBOSIDAD				TEMPERATURA (°C)			H.R. (%)	PRESION (hp.a)		PRONOSTICO DE TENDENCIA (2 horas) BEMG/TEMPO NOSIG																																			
	ddd	ff	VVVVdV	VVVVdV		W	N1	N2	N3	N4	T.T.	B.H.		T.d	T.d		ONH	QFE																																	
																			RD	DV	Va	Va	OP	P	P	P	P																								
00																																																			
01																																																			
02																																																			
03																																																			
04																																																			
05																																																			
06																																																			
07																																																			
08																																																			
09	000	00	0400		FG	BKN020				-0.4	-0.4	-0.4	100			AMANECIO CASI CUBIERTO																																			
10.00	000	00	0300		FG	OVC012				-0.3	-0.3	-0.3	100																																						
11.00	000	00	0300		FG	OVC012				-0.1	-0.1	-0.1	100																																						
12.00	000	00	0300		FG	OVC012				-0.1	-0.1	-0.1	100																																						
13.00	000	00	0500		FG	OVC012				0.3	0.0	-0.4	95																																						
14.00	000	00	0900		FG	OVC015				1.6	0.5	-1.0	82																																						
15.00	000	00	3000		BR	OVC015				2.0	1.0	-0.5	84																																						
16.00	000	00	5000		BR	BKN040				3.4	2.0	0.0	84																																						
17.00	000	00	9000		FEW010	BKN040				3.8	2.2	0.0	72																																						
18.00	000	00	9999		FEW010	SCT040				4.6	2.8	0.3	73																																						
19.00	000	00	9999		FEW010	OVC040				4.8	2.8	0.0	71																																						
20.00	000	00	9999		FEW040					3.4	2.6	1.5	87																																						
21.00	000	00	9999		FEW040					3.5	2.7	1.6	87																																						
22.00	000	00	9999		SCK					3.6	2.9	1.9	87																																						
23																																																			
24																																																			
<b>ABREBIATURAS - OACI</b>																																																			
NUBOSIDAD SKC (Despejado 0/8) FEW (Pocos 1-2/8) SCT (Dispersos 3-4/8) BKN (Fracsosado 5-7/8) OVC (Cubierto 8/8) VIS RWY: (I) U (EN AUMENTO) D (DISMINUYE) N (SIN CAMBIO) TEMPERATURA (T.T.T) M (Para indicar < 0 °C) INDICADORES DE TENDENCIA (TT) FM (Desde - Inicio) AT (a) TL (Hasta - fin)																																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2">HORAS</td> <td colspan="2">EVAPORACION</td> <td colspan="2">OBSERVACION</td> </tr> <tr> <td>SOL</td> <td>1200</td> <td>2400</td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td colspan="2">PRECIPITACION</td> <td colspan="4"></td> </tr> <tr> <td>1200</td> <td>1800</td> <td>00.00</td> <td>TOTAL</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td colspan="2"></td> </tr> </table>																HORAS		EVAPORACION		OBSERVACION		SOL	1200	2400				0	0	0				PRECIPITACION						1200	1800	00.00	TOTAL			0.0	0.0	0.0	0.0		
HORAS		EVAPORACION		OBSERVACION																																															
SOL	1200	2400																																																	
0	0	0																																																	
PRECIPITACION																																																			
1200	1800	00.00	TOTAL																																																
0.0	0.0	0.0	0.0																																																

### OBSERVACIONES METEOROLOGICAS HORARIAS DE SUPERFICIE

HORA (UTC)	VIENTO (KM)		VISIBILIDAD		TIEMPO PRESENTE	NUBOSIDAD			TEMPERATURA (°C)			H.R. (%)	PRESION (hp a)		PRONOSTICO DE TENDENCIA (2 horas) BEMG/TEMPO NOSIG
	ddd	ff	VVVVdV	RRdDvVVVdV		Ni	Nh	Nb	T	B	H		QNH	QFE	
00															
01															
02															
03															
04															
05															
06															
07															
08															
09	000	00	3000		BR	OVC030			1.2	1.0	0.7	97			
10.00	000	00	4000		BR	OVC030			1.3	1.0	0.6	96			
11.00	000	00	9000			OCV030			3.1	2.7	2.1	93			
12.00	000	00	9000			OCV030			4.7	4.0	3.2	90			
13.00	000	00	9000			OVC030			4.4	4.1	3.7	95			
14.00	000	00	9000		-RA	OVC030			5.4	5.0	4.5	94			
15.00	000	00	9000		-RA	BKN020	OVC040		6.2	5.2	4.1	87			
16.00	340	08	9000		RA	BKN020	OVC040		6.1	5.2	4.2	87			
17.00	230	18	9000		RA	SCT015	OVC020		6.6	6.5	6.4	99			
18.00	240	08	9000		RA	BKN020			6.0	5.6	5.1	94			
19.00	250	08	9000		-RA	BKN020			7.6	6.4	5.2	85			
20.00	240	12	4000		-RA BR	BKN020			6.8	6.2	5.5	91			
21.00	240	22	1500		BR	OVC020			4.8	4.4	4.0	94			
22.00	260	25	1200		BR	OVC020			4.4	4.0	3.5	93			
23															
24															
<b>ABREVIATURAS - OACI</b>													HORAS EVAPORACION OBSERVACION		
NUBOSIDAD: SKC (Despejado 0/8 FEW (Pocos 1-2/8) SCT (Dispersos 3-4/8) BKN (Fraccionado 5-7/8) OVC (Cubierto 8/8))													SOL		
VIS RWY (I) U (EN AUMENTO) D (DISMINUYE) N (SIN CAMBIO)													0		
TEMPERATURA: (T+T) M (Para indicar < 0 °C)													PRECIPITACION		
INDICADORES DE TENDENCIA: (T) FM (Desde - Inicio) AT (a) TL (Hasta - fin)													1200		
TOTAL													528		
MEDIA													61.3		
TEMPERATURA													HUMEDAD		
Minima													Minima		
0.3													6.7		
Maxima													Maxima		
85													99		
PRECISION (QFE)													PRECISION		
Minima													1200		
Maxima													1800		
TOTAL													00 00		

### OBSERVACIONES METEOROLOGICAS HORARIAS DE SUPERFICIE

HORA (UTC)	VIENTO (KM)		VISIBILIDAD		TIEMPO PRESENTE		NUBOSIDAD				TEMPERATURA (°C)			H.R. (%)		PRESION (hp a)		PRONOSTICO DE TENDENCIA (2 horas)			
	ddd	ff	Gf/mf	vvvvvvdv	RDdDdVvVvVvVv	W	W	NdNnNhhhhhs	NdNnNhhhhhs	NdNnNhhhhhs	T	T	B	H	T	Td	HR	QNH	QFE	BEMIG/TEMPO NOSIG	
00																					
01																					
02																					
03																					
04																					
05																					
06																					
07																					
08																					
09	080	05		9999				BKN030				5.2	4.6	3.8	3.8	91					
10.00	000	00		9999				SCT020	BKN040			5.4	4.7	3.8	3.8	89					
11.00	000	00		9999				SCT020	BKN040			5.6	5.2	4.7	4.7	93					
12.00	000	00		9999				BKN040				6.0	5.5	4.9	4.9	93					
13.00	000	00		9999				BKN040				6.5	5.9	5.3	5.3	93					
14.00	280	06		9999				OVC040				5.2	4.5	3.7	3.7	90					
15.00	260	06		9999				BKN040				5.7	5.2	4.5	4.5	92					
16.00	000	00		9999				BKN040				6.6	6.2	5.7	5.7	94					
17.00	000	00		9999				BKN040				6.4	6.1	5.7	5.7	95					
18.00	000	00		9999				BKN040				7.5	7.1	6.7	6.7	94					
19.00	000	00		9999				SCT030				8.6	8.3	7.8	7.8	95					
20.00	000	00		9999				BKN040				8.7	8.0	7.3	7.3	91					
21.00	000	00		9999				BKN040				8.4	7.8	7.3	7.3	92					
22.00	000	00		9999				BKN040				8.0	7.7	7.4	7.4	96					
23																					
24																					
<b>ABREBIATURAS - OACI</b>												TOTAL		93.8	86.8	78.6	1298.0	HORAS EVAPORACION OBSERVACION			
												MEDIA		6.7	6.2	5.6	92.7	SOL		2.3	2400
												TEMPERATURA		HUMEDAD		PRESION (QFE)		PRECIPITACION			
												Minima	Maxima	Minima	Maxima	Minima	Maxima	1200	1800	00.00	TOTAL
												0.4	10.0	8.9	9.6						

NUBOSIDAD SKC (Despejado 0/8 FEW (Pocos 1-2/8) SCT (Dispersos 3-4/8) BKN (Fraccionado 5-7/8) OVC (Cubierto 8/8))

VIS RWY: (I) U (EN AUMENTO) D (DISMINUYE) N (SIN CAMBIO)

TEMPERATURA: (T-T\*) M ( Para indicar < 0 °C )

INDICADORES DE TENDENCIA: (T) FM ( Desde - Inicio ) AT (a) TL ( Hasta - fin )



### OBSERVACIONES METEOROLOGICAS HORARIAS DE SUPERFICIE

HORA (UTC)	VIENTO (Km)		VISIBILIDAD		TIEMPO PRESENTE	NUBOSIDAD			TEMPERATURA (°C)			H.R. (%)	PRESION (hp a)		PRONOSTICO DE TENDENCIA (2 horas)					
	ddd	ff	VVVVV	DDDD		Ni	Nh	h	T	B	H		QNH	QFE		BEMG	TEMPO			
00																				
01																				
02																				
03																				
04																				
05																				
06																				
07																				
08																				
09	140	06	9999			BKN030			50	44	37	91								
10.00	000	00	9999			BKN030			52	44	34	88								
11.00	180	08	9999			BKN030			58	48	37	85								
12.00	000	00	9999			BKN030			52	40	26	83								
13.00	260	10	9999			BKN030			60	48	35	84								
14.00	220	10	9999			SCT030			62	50	36	83								
15.00	000	00	9999			SCT030			64	52	38	84								
16.00	200	05	9999			SCT030			66	57	46	87								
17.00	000	00	9999			SCT040			70	55	38	81								
18.00	000	00	9999			SCT040			80	54	23	68								
19.00	240	08	9999			BKN040			70	54	36	79								
20.00	220	10	9999			BKN040			65	55	44	86								
21.00	230	10	9999			BKN040			58	53	48	94								
22.00	240	10	9999			BKN040			55	50	44	92								
23																				
24																				
<b>ABREVIATURAS - OACI</b>													HORAS		EVAPORACION		OBSERVACION			
NUBOSIDAD: SKC (Despejado 0/8 FEW (Pocos 1-2/8) SCT (Dispersos 3-4/8) BKN (Fraccionado 5-7/8) OVC (Cubierto 8/8))													TOTAL		1185.0					
VIS RWY (I) U (EN AUMENTO) D (DISMINUYE) N (SIN CAMBIO)													MEDIA		8.3					
TEMPERATURA: (T-T*) M (Para indicar < 0 °C)													TEMPERATURA		PRESION (QFE)		PRECIPITACION			
INDICADORES DE TENDENCIA: (T) FM (Desde - Inicio) AT (a) TL (Hasta - fin)													Minima		Maxima		1200		TOTAL	
													0.8		10.2		68		94	
													86.2		70.4		52.2		1185.0	
													6.2		5.0		3.7		84.6	
													Maxima		Minima		Maxima		Minima	
													10.2		68		94		1200	
													1800		00.00		TOTAL			

OBSERVACIONES METEOROLOGICAS HORARIAS DE SUPERFICIE

HORA (UTC)	VIENTO (KM)		VISIBILIDAD		TIEMPO PRESENTE	NUBOSIDAD				TEMPERATURA (°C)			H.R. (%)	PRESION (hp.a)			PRONOSTICO DE TENDENCIA (2 horas) BEMG/TEMPO NOSIG																																																																												
	ddd	ff	Gf/m	VVVVd		RRdD	VVVVd	W	N	Ni	Nh	T		B	H	QNH		QFE	QPP																																																																										
00																																																																																													
01																																																																																													
02																																																																																													
03																																																																																													
04																																																																																													
05																																																																																													
06																																																																																													
07																																																																																													
08																																																																																													
09	000	00		5000	-RA		OVC040				5.5	5.0	4.4				90																																																																												
10.00	000	00		5000	-RA		OVC040				5.8	5.2	4.5				91																																																																												
11.00	000	00		5000	-RA		OVC040				6.2	6.0	5.8				98																																																																												
12.00	000	00		7000			OVC040				6.0	5.6	5.2				94																																																																												
13.00	000	00		9999			BKN040				6.0	5.7	5.3				95																																																																												
14.00	000	00		9999			SCT020	BKN040			6.0	5.8	5.6				97																																																																												
15.00	250	08		9999			SCT050	SCT050			7.4	6.4	5.3				87																																																																												
16.00	270	12		9999			SCT012	BKN040			6.2	5.0	3.6				84																																																																												
17.00	280	08		9999			SCT012	BKN040			6.7	5.6	4.3				85																																																																												
18.00	000	00		9999			SCT015	BKN040			6.8	6.3	5.8				93																																																																												
19.00	000	00		9999			SCT015	BKN040			7.7	6.7	5.6				87																																																																												
20.00	310	06		9999			SCT015	BKN040			7.1	6.9	6.7				97																																																																												
21.00	000	00		9999			FEW015	SCT040			8.3	7.0	5.7				89																																																																												
22.00	000	00		9999			FEW015	BKN040			7.5	7.3	7.1				97																																																																												
23																																																																																													
24																																																																																													
<b>ABREVIATURAS - OACI</b>																																																																																													
NUBOSIDAD SKC (Despejado 008 FEW (Pocos 1-2/8) SCT (Dispersos 3-4/8) BKN (Fraccionado 5-7/8) OVC (Cubierto 8/8)) VIS RWY (l) U (EN AUMENTO) D (DISMINUYE) N (SIN CAMBIO) TEMPERATURA (T-T*) M (Para indicar < 0 °C) INDICADORES DE TENDENCIA (TT) FM ( Desde - lineas ) AT (a) TL ( Hasta - fm )																																																																																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="12">TOTAL</td> <td>93.2</td> <td>84.5</td> <td>74.9</td> <td>1284.0</td> <td colspan="3">HORAS EVAPORACION OBSERVACION</td> </tr> <tr> <td colspan="12">MEDIA</td> <td>6.7</td> <td>6.0</td> <td>5.4</td> <td>91.7</td> <td colspan="3">SOL 1200 2400</td> </tr> <tr> <td colspan="12">TEMPERATURA</td> <td colspan="2">Maxima</td> <td colspan="2">Minima</td> <td colspan="3">PRECIPITACION</td> </tr> <tr> <td colspan="12">1.2</td> <td>9.5</td> <td>8.4</td> <td>98</td> <td colspan="2">Maxima</td> <td colspan="2">1200 1800 00.00</td> <td>TOTAL</td> </tr> </table>																	TOTAL												93.2	84.5	74.9	1284.0	HORAS EVAPORACION OBSERVACION			MEDIA												6.7	6.0	5.4	91.7	SOL 1200 2400			TEMPERATURA												Maxima		Minima		PRECIPITACION			1.2												9.5	8.4	98	Maxima		1200 1800 00.00		TOTAL
TOTAL												93.2	84.5	74.9	1284.0	HORAS EVAPORACION OBSERVACION																																																																													
MEDIA												6.7	6.0	5.4	91.7	SOL 1200 2400																																																																													
TEMPERATURA												Maxima		Minima		PRECIPITACION																																																																													
1.2												9.5	8.4	98	Maxima		1200 1800 00.00		TOTAL																																																																										

### OBSERVACIONES METEOROLOGICAS HORARIAS DE SUPERFICIE

HORA (UTC)	VIENTO (KM)		VISIBILIDAD		TIEMPO PRESENTE	NUBOSIDAD						TEMPERATURA (°C)			H.R. (%)	PRESION (hp a)		PRONOSTICO DE TENDENCIA (2 horas)							
	ddd	ff	VVVVd	DD-DVVVVd		W W	Ni-Ni-Ni-hh-hh	Ni-Ni-Ni-hh-hh	Ni-Ni-Ni-hh-hh	Ni-Ni-Ni-hh-hh	T T	B H	T d T d	HR		QNH	QFE		BEMG/TEMPO	NOSIG					
00																									
01																									
02																									
03																									
04																									
05																									
06																									
07																									
08																									
09	00	00	3000		-BRR	OVC015					7.8	7.8	7.8	100											
10.00	00	00	3000		-RA	OVC015					7.9	7.8	7.8	99											
11.00	09	15	4000		-RA	OVC015					7.3	7.3	7.3	100											
12.00	08	12	4000		-RA	OVC015					6.8	6.4	6.1	95											
13.00	12	20	4000		-RA	OVC015					1.4	0.9	0.2	92											
14.00	12	18	3000		-RA	OVC015					1.2	0.8	0.3	93											
15.00	10	10	0300		-RASN	OVC012					0.7	0.6	0.5	98											
16.00	08	08	0300		-RASN	OVC012					0.5	0.3	0.0	97											
17.00	09	08	0300		-RASN	OVC012					0.6	0.6	0.6	100											
18.00	11	15	0200		-RASN	OVC012					0.4	0.3	0.2	98											
19.00	11	14	0200		-RASN	OVC012					0.7	0.4	0.1	94											
20.00	12	16	0200		-RASN	OVC010					0.9	0.6	0.2	95											
21.00	11	18	0200		-RASN	OVC010					0.8	0.6	0.3	96											
22.00	11	18	0200		-RASN	OVC010					0.6	0.6	0.6	100											
23																									
24																									
<b>ABREVIATURAS - OACI</b>																									
NUBOSIDAD SKC (Despejado 0/8 FEW (Pocos 1-2/8) SCT (Dispersos 3-4/8) BKN (Fraccionado 5-7/8) OVC (Cubierto 8/8))												TOTAL		37.6		35.0		31.8		1357.0		HORAS EVAPORACION		OBSERVACION	
VIS RWY (I) U (EN AUMENTO) D (DISMINUYE) N (SIN CAMBIO)												MEDIA		2.7		2.5		2.3		96.9		PRECIPITACION		TOTAL	
TEMPERATURA (T-T*) M (Para indicar < 0 °C)												TEMPERATURA		Maxima		Minima		Maxima		Minima		PRECIPITACION		TOTAL	
INDICADORES DE TENDENCIA (TT) FM (Desde - Inicio) AT (a) TL (Hasta - fin)												Minima		9.0		92		100		1800		00.00		TOTAL	

OBSERVACIONES METEOROLOGICAS HORARIAS DE SUPERFICIE

HORA (UTC)	VIENTO (KM)		VISIBILIDAD		TIEMPO PRESENTE	NUBOSIDAD			TEMPERATURA (°C)			H R (%)	PRESION (hp a)		PRONOSTICO DE TENDENCIA (2 horas)																																																																													
	ddd	ff	Gf/mf	VVVVdV		vvvvvvdDx	W	N	h	T	B		H	QNH		QFE	BEMG	TEMPO																																																																										
				RD	D	M	V	A	V	A	V	A	V	A	V	A	NOSIG																																																																											
00																																																																																												
01																																																																																												
02																																																																																												
03																																																																																												
04																																																																																												
05																																																																																												
06																																																																																												
07																																																																																												
08																																																																																												
09	150	12		0200	SN						0.2	0.0				97																																																																												
10.00	140	14		0200	SN						0.2	0.0				97																																																																												
11.00	150	18	30	0200	SN						0.2	-0.1				95																																																																												
12.00	110	16		0300	SN						0.1	-0.1				96																																																																												
13.00	120	16		0300	SN						0.0	-0.2				97																																																																												
14.00	110	16		0300	SN						-0.1	-0.3				97																																																																												
15.00	120	16		0300	SN						-0.1	-0.3				97																																																																												
16.00	110	16		0500	SN						-0.1	-0.3				97																																																																												
17.00	120	16		0700	-SN						-0.1	-0.3				97																																																																												
18.00	120	22		1000	-SN						-0.1	-0.3				97																																																																												
19.00	160	22		1000	-SN						-0.1	-0.4				95																																																																												
20.00	120	22		1000	-SN						-0.1	-0.4				95																																																																												
21.00	100	20		1000	-SN						-0.1	-0.4				95																																																																												
22.00	120	22		1000	-SN						-0.2	-0.4				95																																																																												
23																																																																																												
24																																																																																												
<b>ABREVIATURAS - OACI</b>																																																																																												
NUBOSIDAD: SKC (Despejado) 08 FEW (Pocos 1-2/8) SCT (Dispersos 3-4/8) BKN (Fraccionado 5-7/8) OVC (Cubierto 8/8) VIS RWY: ( ) U (EN AUMENTO) D (DISMINUYE) N (SIN CAMBIO) TEMPERATURA: (T-T') M ( Para indicar < 0 °C ) INDICADORES DE TENDENCIA: (T) FM (Desde -Inicio) AT (a) TL (Hacia - fm)																																																																																												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="12">TOTAL</td> <td>-0.1</td> <td>-0.2</td> <td>-8.2</td> <td>1347.0</td> <td colspan="3">HORAS EVAPORACION OBSERVACION</td> </tr> <tr> <td colspan="12">MEDIA</td> <td>0.0</td> <td>-0.1</td> <td>-0.6</td> <td>96.2</td> <td colspan="3">SOL 1200 2400</td> </tr> <tr> <td colspan="12">TEMPERATURA</td> <td>Maxima</td> <td>Minima</td> <td>Maxima</td> <td>Minima</td> <td colspan="3">PRECIPITACION</td> </tr> <tr> <td colspan="12">-0.7</td> <td>95</td> <td>97</td> <td>95</td> <td>97</td> <td colspan="3">1200 1800 00.00 TOTAL</td> </tr> </table>																	TOTAL												-0.1	-0.2	-8.2	1347.0	HORAS EVAPORACION OBSERVACION			MEDIA												0.0	-0.1	-0.6	96.2	SOL 1200 2400			TEMPERATURA												Maxima	Minima	Maxima	Minima	PRECIPITACION			-0.7												95	97	95	97	1200 1800 00.00 TOTAL		
TOTAL												-0.1	-0.2	-8.2	1347.0	HORAS EVAPORACION OBSERVACION																																																																												
MEDIA												0.0	-0.1	-0.6	96.2	SOL 1200 2400																																																																												
TEMPERATURA												Maxima	Minima	Maxima	Minima	PRECIPITACION																																																																												
-0.7												95	97	95	97	1200 1800 00.00 TOTAL																																																																												

### OBSERVACIONES METEOROLOGICAS HORARIAS DE SUPERFICIE

HORA (UTC)	VIENTO (KM)		VISIBILIDAD		TIEMPO PRESENTE	NUBOSIDAD						TEMPERATURA (°C)			H.R. (%)	PRESION (hp a)		PRONOSTICO DE TENDENCIA (2 horas) BEMG/TEMPO NOSIG				
	ddd	ff	VVVVV	DDxVVVVV		W	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8		N9	T		B	H	Td	QNH
00																						
01																						
02																						
03																						
04																						
05																						
06																						
07																						
08																						
09	060	12	1000		-SN	OVC015								0.0	-0.5	-1.2						92
10.00	070	12	1000		-SN	OVC015								0.2	-0.3	-1.0						92
11.00	080	10	2000		-SNBR	OVC015								0.4	0.0	-0.6						93
12.00	090	10	3000		-BR	OVC020								0.6	0.2	-0.4						93
13.00	080	10	3000		BR	OVC020								0.7	0.5	0.2						96
14.00	000	00	4000		BR	OVC020								0.9	0.7	0.4						96
15.00	030	10	4000		BR	SCT020	BKN040							1.7	1.2	0.4						91
16.00	090	14	2000		-SNBR	BKN020								1.6	1.2	0.6						93
17.00	100	18	1200		-SNBR	OVC020								1.5	1.2	0.7						94
18.00	100	18	1200		-SNBR	OVC020								1.5	1.2	0.7						94
19.00	100	18	1200		-SNBR	OVC020								1.5	1.2	0.7						94
20.00	100	18	1200		-SNBR	OVC020								1.5	1.2	0.7						94
21.00	100	18	1200		-SNBR	OVC020								1.5	1.2	0.7						94
22.00	100	18	1200		-SNBR	OVC020								1.5	1.2	0.7						94
23																						
24																						
<b>ABREVIATURAS - OACI</b>													TOTAL		15.1	10.2	2.6	13100	HORAS EVAPORACION OBSERVACION			
													MEDIA		1.1	0.7	0.2	936	SOL		0	2400
													TEMPERATURA		HUMEDAD		PRESION (QFE)		PRECIPITACION		TOTAL	
													Minima	Maxima	Minima	Maxima	Minima	Maxima	1200	1800	00.00	00.00
													-0.9	91	96	936						

NUBOSIDAD SKC (Despejado 0/8) FEW (Pocos 1-2/8) SCT (Dispersos 3-4/8) BKN (Fraccionado 5-7/8) OVC (Cubierto 8/8)  
 VIS RWY (I) U (EN AUMENTO) D (DISMINUYE) N (SIN CAMBIO)  
 TEMPERATURA (T-T) M ( Para indicar < 0 °C )  
 INDICADORES DE TENDENCIA (TT) FM ( Desde - inicio ) AT (a) TL ( Hasta - fin )

OBSERVACIONES METEOROLOGICAS HORARIAS DE SUPERFICIE

HORA (UTC)	VIENTO (KM)		VISIBILIDAD		TIEMPO PRESENTE	NUBOSIDAD				TEMPERATURA (°C)			H.R. (%)	PRESION (hp a)		PRONOSTICO DE TENDENCIA (2 horas) BEMG/TEMPO NOSIG																																																						
	ddd	ff	VVVVdV	RDxDw/Va/Va/Vis		W	Nd	Nh	Nb	h	T	B		H	Td		Td	QNH	QFE																																																			
00																																																																						
01																																																																						
02																																																																						
03																																																																						
04																																																																						
05																																																																						
06																																																																						
07																																																																						
08																																																																						
09	130	28	0500		SN	OVC015				0.8	0.2		-0.7			90																																																						
10.00	120	25	0500		SN	OVC015				0.7	0.2		-0.5			91																																																						
11.00	130	25	1000	35	SN	OVC020				0.6	0.2		-0.4			93																																																						
12.00	110	25	1000		SN	OVC020				0.8	0.2		-0.7			90																																																						
13.00	120	24	1000		-SN	OVC020				0.9	0.3		-0.6			90																																																						
14.00	110	24	2000		BR	OVC030				1.0	0.4		-0.4			90																																																						
15.00	110	24	2000		BR	OVC030				1.2	0.7		0.0			92																																																						
16.00	130	28	4000		BR	BKN030				1.4	1.0		0.4			93																																																						
17.00	110	16	5000		BR	SCT015			OVC30	2.0	1.3		0.3			88																																																						
18.00	120	14	5000		BR	OVC030				1.7	1.0		0.0			89																																																						
19.00	110	12	5000		BR	OVC030				1.6	0.8		-0.3			88																																																						
20.00	140	10	5000		BR	BKN040				1.4	0.6		-0.5			87																																																						
21.00	120	10	5000		BR	BKN040				1.2	0.7		-0.1			92																																																						
22.00	130	12	5000		BR	BKN040				1.0	0.7		0.2			94																																																						
23																																																																						
24																																																																						
<b>ABREVIATURAS - OACI</b>																																																																						
NUBOSIDAD SKC (Despejado 0/8 FEW (Pocos 1-2/8) SCT (Dispersos 3-4/8) BKN (Fraccionado 5-7/8) OVC (Cubierto 8/8)) VIS RWY (I) U (EN AUMENTO) D (DISMINUYE) N (SIN CAMBIO) TEMPERATURA (T°T) M ( Para indicar < 0 °C ) INDICADORES DE TENDENCIA (TT) FM ( Desde - Inicio ) AT (a) TL ( Hasta - fin )																																																																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%; text-align: center;">TOTAL</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">16.3</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">8.3</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">-3.3</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">1267.0</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">HORAS</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">EVAPORACION</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">OBSERVACION</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">SOL</td> <td style="text-align: center;">1200</td> <td style="text-align: center;">2400</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">0</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">PRECIPITACION</td> <td style="text-align: center;">1200</td> <td style="text-align: center;">00.00</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">Minima</td> <td style="text-align: center;">Maxima</td> <td style="text-align: center;">TOTAL</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">0.0</td> <td style="text-align: center;">3.0</td> <td style="text-align: center;">87</td> <td style="text-align: center;">94</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>																		TOTAL	16.3	8.3	-3.3	1267.0	HORAS	EVAPORACION	OBSERVACION							SOL	1200	2400							0									PRECIPITACION	1200	00.00							Minima	Maxima	TOTAL			0.0	3.0	87	94			
	TOTAL	16.3	8.3	-3.3	1267.0	HORAS	EVAPORACION	OBSERVACION																																																														
						SOL	1200	2400																																																														
						0																																																																
						PRECIPITACION	1200	00.00																																																														
						Minima	Maxima	TOTAL																																																														
		0.0	3.0	87	94																																																																	

**APÉNDICE 12: Especificaciones técnicas de los tubos  
muestreadores pasivos por difusión  
para ozono, dióxido de nitrógeno y  
dióxido de azufre**

## Muestreadores pasivos para ozono

El ozono es un gas tóxico que causa perjuicios secundarios y se forma a partir del bióxido de nitrógeno y de los hidrocarburos debajo de la radiación solar. Es un gas irritante para los ojos y las vías respiratorias y tiene un efecto fitotóxico importante.

El muestreador de difusión pasiva está basado en la difusión del ozono a lo largo de un tubo hacia un medio absorbente. La quimisorción del ozono se lleva a cabo por reacción con 1,2-di(4-piridil)-etileno (DPE), el ozónido formado se divide y produce un aldehído. La cantidad de aldehído es determinada al final por espectrofotometría con el método MBTH a 442 nm.

El muestreador de difusión para el ozono consiste en un tubo de polipropileno de 4.9 cm de largo y 0.9 cm de diámetro. En la extremidad cerrada hay un filtro de vidrio sumergido en solución ácida de DPE. Para proteger los muestreadores de las condiciones ambientales y para eliminar el efecto de la luz sobre el DPE, se desarrolló un dispositivo especial, que permite también suspenderlos.

No existen referencias a un coeficiente de difusión del ozono en la literatura. Además, la división del DPE no es estequiométrica. Por estas razones, el sistema completo se calibró de manera continua, en 9 lugares de medición, durante los seis meses de buena temporada [1]. El factor de calibración pudo ser verificado posteriormente en 9 lugares de medición diferentes, el año siguiente [2].



Dispositivo de protección contra la influencia atmosféricas y de suspensión

Para su uso, los muestreadores se colocan verticalmente y el tapón inferior se remueve al inicio de la exposición. El tapón está reemplazado al final de la exposición. El período de medición se limita a una semana.

En la ley federal suiza sobre la protección del aire son determinados los valores límites para el ozono, valores destinados a evitar concentraciones de punta:

100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	para el 98% de los muestreos efectuados cada media hora, durante un mes.
120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	valor medio horario, que puede ser excedido una vez al año.

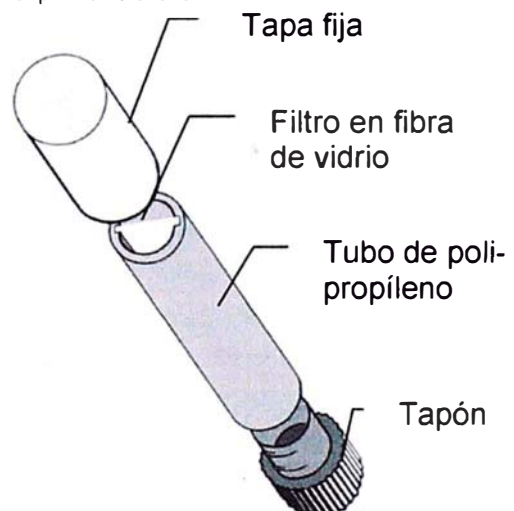
En el Perú:

120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Período de 8 horas. No exceder más de 24 veces/año
------------------------------	--

Los análisis de Monn[1] demuestran que, con valores medios semanales debajo de 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , no se excede el valor límite medio horario. Sólo con valores medios de 80  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , el valor límite horario estará excedido con una probabilidad de 100%. La diferencia entre ciudad y campo lo muestra: En las ciudades hay una contaminación baja por el ozono con puntas elevadas a corto plazo, mientras en zonas de campo no hay variaciones tan grandes.

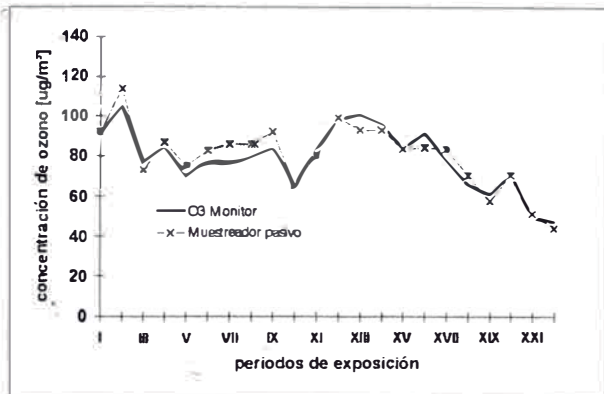
Se sugiere de determinar las concentraciones promedias con métodos pasivos para observaciones de tendencias a largo plazo, con el fin de controlar planes de acción así como de comparar diferentes áreas simultáneamente. El valor máximo promedio de exposición recomendado por la Organización Mundial para la Salud es de 60  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  durante un tiempo de seis meses.

Muestreador pasivo de ozono





## Especificaciones



Comparación de mediciones con muestreos efectuados con métodos pasivos y monitores automáticos realizado en seis lugares de medición constante de ozono por más de 22 semanas en los Alpes Europeos. [3]

Tasa de colección difusiva	PS [mabs] = 0.0255 [mg/m³ · h]	r = 0.83
Rango de trabajo	4 – 240 µg/m³	
Tiempo de muestreo	1 semana	
Limite de detección	2 µg/m³ para exposición de una semana	
Efectos externos	velocidad del viento	influencia de la velocidad del viento < 10 % por debajo de 2.0 m/s con dispositivo de protección
	temperatura	ningún efecto entre 10 y 30°C
	humedad	ningún efecto entre 20 y 80%
Almacenamiento	antes de usar:	6 meses
	después de usar:	4 meses
Interferencias	Posiblemente por oxidantes	
Incertidumbre	25.1 % a un nivel de > 80 µg/m³	

según GUM; salvo modificación

Revisión 31.1. 2003

## Bibliografía

- [1] Ch. Monn und M. Hangartner: Passive Sampling for Ozone. Journal of Air and Waste Management Assoc. Vol 40, No 3 (1990).
- [2] M. Hangartner et. al.: Vergleich von Ozonpassivsammlern mit kontinuierlichen Messgeräten. Umwelttechnik 4/90.
- [3] Hangartner, M. Kirchner, M. and Werner, H.: Evaluation of Passive Methods for Measuring Ozone in the European Alps. Analyst, Vol 121 p. 1269 - 1272 (1996).

## Precios

Lista de precios a pedido

# passam ag

Laboratorio analítico para el medio ambiente, Männedorf SUIZA

Representante en el Perú: Klepel Consulting S.A.C., Correo Electrónico: klepelconsulting@infonegocio.net.pe,

pagina web: <http://www.klepel.ch>, Teléfono: +51 (1) 445 5749, Celular: +51 (1) 9720 0519

## Muestreadores pasivos para dióxido de nitrógeno

El dióxido de nitrógeno es un gas tóxico, el cual puede tener efectos adversos crónicos y agudos y puede incrementar la frecuencia y seriedad de los síntomas de respiración baja (bronquitis). El dióxido de nitrógeno juega un papel importante como precursor en la formación de ozono y oxidantes, que son también tóxicos en especial para las plantas. Sus fuentes son mayoritariamente el tráfico motorizado, así como también los fuegos domésticos y procesos industriales de combustión.

El muestreador está basado en el principio de difusión molecular de dióxido de nitrógeno hacia un medio absorbente, en este caso de trietanolamina. El muestreador consiste en un tubo de polipropileno de 7.4 cm de largo y de 9.5 mm de diámetro interno [1]. Los muestreadores se colocan en un dispositivo especial, para protegerlos de la lluvia y minimizar la influencia del viento.



Dispositivo de protección contra la influencia del tiempo

La cantidad de dióxido de nitrógeno absorbida es proporcional a la concentración en el medio ambiente. Después de un cierto tiempo de exposición (de 1 día hasta 2 semanas) se extrae la cantidad total de dióxido de nitrógeno que se determina según la reacción de Saltzman a 540 nm utilizando un espectrofotómetro.

Los valores límites anuales para el dióxido de nitrógeno son fijados de manera diferente según el país:

Perú	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Suiza	30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Unión Europea, OMS/CEE	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

El muestreador de difusión es recomendable para la vigilancia de los valores límite de largo período, para el seguido de tendencias de años, para el control del resultado de la implementación de planes estatales, así como para la comparación simultánea de varias regiones. En proyectos

de tráfico se puede así determinar fácilmente el cambio de concentración del dióxido de nitrógeno.

El muestreador pasivo es apropiado también para determinar la exposición personal al dióxido de nitrógeno.

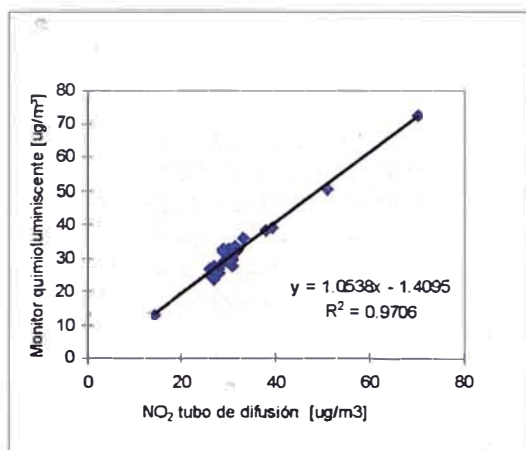


Muestreador pasivo para el dióxido de nitrógeno

Picos de corto plazo no pueden estar determinados con este método. Los valores límites son de 95 a 98 por ciento para las concentraciones a corto plazo. El análisis de las concentraciones de  $\text{NO}_2$  en varios lugares de medición cerca de tráfico motorizado en diferentes estados federales alemanes durante varios años ha mostrado que la proporción de 98% al medio aritmético anual se eleva en general de 2.0 a 2.2.

La influencia de proyectos de tráfico en la calidad del aire puede ser estudiada de una forma fácil y con bajo costo. El muestreador es adecuado también para monitores personal en estudios epidemiológicos.

## Especificaciones



Comparación de 25 valores límites anuales en diferentes lugares de medición continua con muestreos pasivos. [2]

Tasa de colección difusiva	0.8536 ml/min a 9°C	
Rango de trabajo	1 – 200 µg/m <sup>3</sup>	
Tiempo de muestreo	1 – 4 semanas	
Límite de detección	1.3 µg/m <sup>3</sup> para exposición de una semana 0.64 µg/m <sup>3</sup> para exposición de 14 días	
Efecto externa	velocidad del viento	influencia de la velocidad del viento < 10 % por debajo de 4.5 m/s con dispositivo de protección
	temperatura	ningún efecto entre 5 y 40°C
	humedad	ningún efecto entre 20 y 80%
Almacenamiento	antes de usar:	12 meses
	después de usar:	4 meses
Interferencias	óxido nítrico, dióxido de azufre y ozono no interfieren. Nitrato de peroxiacetilo dará resultados más altos [3].	
Incertidumbre	17.8 % a nivel de 40 µg/m <sup>3</sup>	

según GUM; salvo modificación

Revisión 31.1. 2003

## Bibliografía

- [1] Palmes, E.D. Gunnison, A.F. Personal sampler for nitrogen dioxide. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 37, 570-577, 1976.
- [2] Jahresberichte über Schadstoffbelastung verschiedener Kantone in der Schweiz: (Graubünden, Freiburg, Aargau, Luzern)
- [3] Hangartner, M.: Einsatz von Passivsammlern für verschiedene Schadstoffe in der Aussenluft. VDI Berichte Nr. 838, 515-526 (1990).
- [4] Hisham, M.W.M. and Grosjean D.: Sampling of atmospheric nitrogen dioxide using Triethanolamine interference from Peroxyacetyl Nitrate. Atmospheric environment Vol 24A, No. 9, 2523-2525, 1990.

# passam ag

Laboratorio analítico para el medio ambiente, Männedorf SUIZA

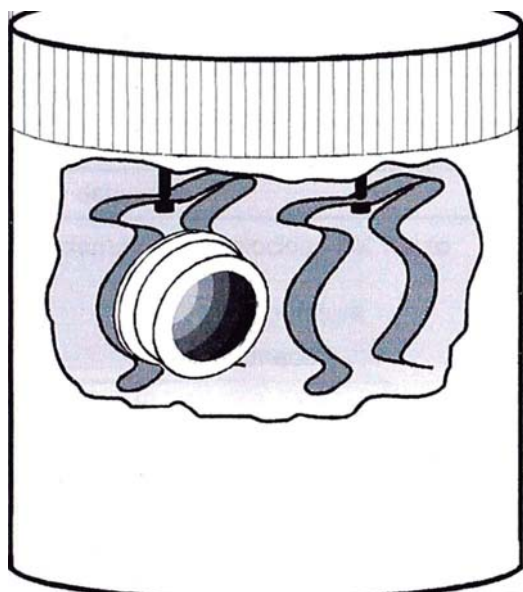
Representante en el Perú: Klepel Consulting S.A.C., Correo Electrónico: klepelconsulting@infonegocio.net.pe,

pagina web: <http://www.klepel.ch>, Teléfono: +51 (1) 445 5749, Celular: +51 (1) 9720 0519

## Muestreadores pasivos para el dióxido de azufre

El dióxido de azufre es un gas irritante para el sistema respiratorio y puede causar, con una exposición de larga duración, enfermedades en las vías respiratorias como la bronquitis. El dióxido de azufre proviene en gran parte de la combustión de combustibles fósiles sobre todo del carbón sulfurado y en parte menor de los gases de escape de los vehículos diesel.

El muestreador pasivo para dióxido de azufre está basado en el principio de la difusión molecular pasiva de dióxido de azufre hacia un medio absorbente en este caso de carbonato de potasio y de glicerina. Los muestreadores utilizados consisten en un estuche de polipropileno con una apertura de 20 mm de diámetro. Para disminuir la influencia del viento se fija una membrana sostenida por una red metálica. Se recomienda un dispositivo de suspensión especialmente fabricado para proteger al muestreador de las influencias atmosféricas y del viento.



Dispositivo de suspensión como protección contra las influencias atmosféricas

La cantidad de dióxido de azufre absorbida es proporcional a la concentración en el ambiente. Después de un cierto tiempo de exposición (de una semana a un mes) se extrae la cantidad total de dióxido de azufre y se determina por cromatografía iónica.

Los valores límites o las recomendaciones para el dióxido de azufre son fijadas de manera diferente según el país:

Perú	80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Suiza	30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
EEC	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1999)
OMS	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1996)

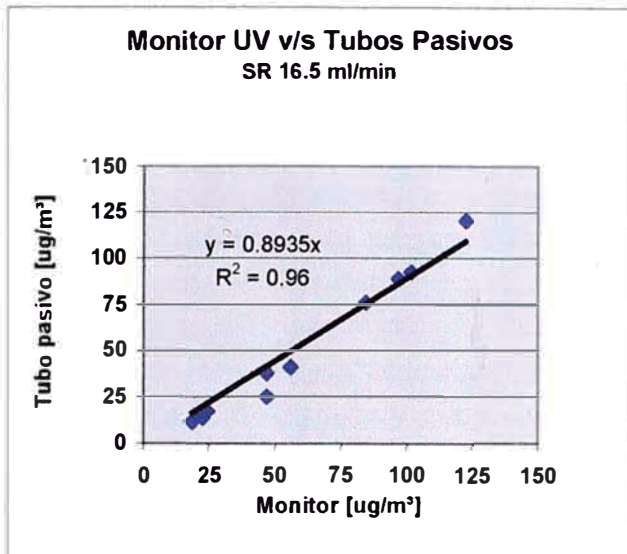
El muestreador pasivo de dióxido de azufre es apropiado como complemento a las estaciones de medición en continuo, además para determinar la contaminación espacial de una región. Si los valores de los muestreos están alrededor de un valor límite se puede aumentar su validez con métodos activos.



Muestreador con membrana de teflón para la medición del dióxido de azufre

El dióxido de azufre es una sustancia importante en la formación de lluvias ácidas. Es recomendable seguir el monitoreo a largo plazo con métodos pasivos para vigilar la contaminación de sistemas ecológicos sensibles.

## Especificaciones



Comparación de muestreos pasivos con mediciones continuas en Talcahuano Chile

Tasa de colección difusiva	11.9 ml/min 20°C	
Rango de trabajo	3 – 240 µg/m³	
Tiempo de muestreo	2 – 4 semanas	
Límite de detección	0.4 µg/m³ para exposición de 14 días	
Efecto externa	velocidad del viento	influencia de la velocidad del viento < 10 % por debajo de 4.5 m/s con dispositivo de protección
	temperatura	ningún efecto entre 10 y 30°C
	humedad	ningún efecto entre 20 y 80%
Almacenamiento	antes de usar:	12 meses
	después de usar:	4 meses
Interferencias	separación específica en el cromatógrafo iónico	
Incertidumbre*	25.4 % a un nivel de 40 µg/m³	

\*según GUM; salvo modificación

Revisión 31.1. 2003

## Bibliografía

[1] Validation report passam ag VP100303 (1999).

**passam ag**

Laboratorio analítico para el medio ambiente, Männedorf SUIZA

Representante en el Perú: Klepel Consulting S.A.C., Correo Electrónico: klepelconsulting@infonegocio.net.pe,

pagina web: <http://www.klepel.ch>, Teléfono: +51 (1) 445 5749, Celular: +51 (1) 9720 0519

## Precios

Lista de precios a pedido

**APÉNDICE 13: Registro de calibración de fábrica del  
muestreador MiniPartisol 2100**

Final Test: Instrument Checkout Record

Mini Partisol® Model 2100

Final Test Record

R&P Serial #: 2100 B 202490607

This instrument has been fully calibrated and tested by Rupprecht and Patashnick Co., Inc. in accordance with American National Standards Institute (ANSI) Z540 for calibration. The equipment calibration is traceable to the National Institute of Standards and Technology (NIST) in Washington D.C., USA. The manufacturing, test and calibration of this instrument were conducted in accordance with R&P's certified ISO9001 program for quality. This Final Test Record is a summary of the instrument calibrations and contains important information critical to its performance. This record also serves as confirmation that all the required Manufacturing and Quality Control inspections done on this instrument, are in accordance with Rupprecht & Patashnick Co. Inc.'s specifications.

Process Checks:

Assembly inspection

Calibration

Passes all function tests

Flow Curve

Ambient Temperature		22.76°C		Ambient Pressure		996mbars	
Sensor 1 Flow Pt	Ideal Flow	Bios Flow	TP 9 Vdc	Flow STD			
Flow point 1	2.3 lpm	2.300	3.029	2.088			
Flow point 2	2.8 lpm	2.800	3.631	2.502			
Flow point 3	4.6 lpm	4.600	4.788	4.176			
Flow point 4	5.6 lpm	5.600	4.957	5.084			
Sensor 2 Flow Pt	Ideal Flow	Bios Flow	TP 8 Vdc	Flow STD			
Flow point 1	2.3 lpm	2.300	2.760	2.088			
Flow point 2	2.8 lpm	2.800	3.379	2.542			
Flow point 3	4.6 lpm	4.600	4.668	4.176			
Flow point 4	5.6 lpm	5.600	4.911	5.084			

Firmware version: 1.07

Final Test Sign off All test requirements have been successfully completed.

Signature RB (Final Test)

Date 8/2/06

Q.A. Approval to Ship

Signature [Signature] (QA or Product Leader)

Date 8/2/06

**APÉNDICE 14: Registro de calibración de fábrica del  
Sonómetro Quest 2900**





## Certificate of Calibration

Certificate No: 1047694 CD0070040

Order By: TECNIN DEL PERU S.A.  
11521 S.W. 98 ST.  
MIAMI, FL 33176

Order ID: CD0070040 Date Received: 8/22/2006  
2900 SLM Date Issued: 8/31/2006  
Valid Until: 8/31/2007

Model Conditions:  
As Found: DAMAGED  
As Left: IN TOLERANCE  
Temperature: 18°C to 29°C  
Humidity: 20% to 80%  
Static Pressure: 890 mbar to 1050 mbar

Part Number: ONE QE 7052 1/2 IN. ELECTRET  
PREAMP  
Serial Number: 27568  
N/A

Calibration Procedure: 56V996

### Standard(s):

Order	Device	Last Calibration Date	Calibration Due
066	B&K ENSEMBLE	10/14/2005	10/14/2006
007	FLUKE 45 MULTIMETER	3/23/2005	3/23/2007

### Measurement Uncertainty:

ACOUSTIC (0.3DB) +/- 1.4% VAC +/- 0.1% VDC  
at 95% Confidence Level (k=2)

Calibrated By: Paul M. Wegmann 8/31/2006  
PAUL WEGMANN Service Technician

Approved By: [Signature] 8/31/2006  
Technical Manager/Deputy

This report certifies that all calibration equipment used in the test is traceable to NIST, and applies only to the unit identified above. This report must not be reproduced except in its entirety without the written approval of Quest Technologies.



1060 CORPORATE CENTER DRIVE • OCONOMOWOC, WISCONSIN 53066-4828  
800-245-0779 • 262-567-9157 • Fax 262-567-4047 • INTERNET ADDRESS: <http://questtechnologies.com>

Rev. B





## Certificate of Calibration

Certificate No: 1047694 CD0070040

(A) indicates out of tolerance condition

Test Type	Nominal	Tolerance	Tolerance +	As Found	As Left	Unit
Calibration	110.0	109.5	110.5		110.0	dB
A Weighting/125Hz	93.9	92.4	95.4		94.5	dB
A Weighting/250Hz	101.4	99.9	102.9		101.7	dB
A Weighting/500Hz	106.8	105.3	108.3		107.0	dB
A Weighting/1kHz	110.0	109.5	110.5		110.0	dB
A Weighting/2kHz	111.2	109.2	113.2		111.1	dB
C Weighting/125Hz	109.8	108.3	111.3		110.5	dB
C Weighting/250Hz	110.0	108.5	111.5		110.4	dB
C Weighting/500Hz	110.0	108.5	111.5		110.3	dB
C Weighting/1kHz	110.0	109.5	110.5		110.0	dB
C Weighting/2kHz	109.8	107.8	111.8		109.8	dB
Lin Weighting/125Hz	110.0	108.5	111.5		110.7	dB
Lin Weighting/250Hz	110.0	108.5	111.5		110.5	dB
Lin Weighting/500Hz	110.0	108.5	111.5		110.3	dB
Lin Weighting/1kHz	110.0	109.5	110.5		110.1	dB
Lin Weighting/2kHz	110.0	108.0	112.0		110.0	dB
Lin/60 - 120/120	120.0	118.8	121.2		120.2	dB
Lin/60 - 120/110	110.0	109.5	110.5		110.0	dB
Lin/60 - 120/100	100.0	98.8	101.2		100.0	dB
Lin/60 - 120/90	90.0	88.8	91.2		90.0	dB
Lin/40 - 100/90	90.0	88.8	91.2		90.1	dB
Lin/40 - 100/80	80.0	78.8	81.2		80.1	dB
Peak/60 - 120/120	123.0	121.5	124.5		123.5	dB
Peak/60 - 120/110	113.0	111.5	114.5		113.0	dB
Peak/60 - 120/100	103.0	101.5	104.5		102.9	dB
Peak/60 - 120/90	93.0	91.5	94.5		93.5	dB
DC Out/120dB	1.000	0.950	1.050		0.992	VDC
AC Out/120dB	3.160	2.920	3.430		3.280	VAC

# QUEST

TECHNOLOGIES

1060 CORPORATE CENTER DRIVE • OCONOMOWOC, WISCONSIN 53066-4828  
800-245-0779 • 262-567-9157 • FAX 262-567-4047 • INTERNET ADDRESS <http://quest-technologies.com>



**APÉNDICE 15: Cadena de Custodia para evaluaciones ambientales de DIGESA**



