

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**“EVALUACIÓN DE LOS FACTORES METEOROLÓGICOS DE LA
CONTAMINACIÓN EN EL OVALO CHAMA, UBICADO ENTRE LAS
INTERSECCIONES DE LAS AVENIDAS UNIVERSITARIA Y SEPARADORA
INDUSTRIAL EN EL DISTRITO DE VILLA EL SALVADOR – VERANO
2018”**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL
Para optar el Título Profesional de

INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTADO POR EL BACHILLER

SORIA FLORES, DEICY EDITH

**Villa El Salvador
2018**

DEDICATORIA

Dedico a dios ya que gracias a el he podido concluir mi carrera.

A mis padres, porque ellos siempre estuvieron a mi lado brindándome apoyo
consejos para hacer de mí una gran persona.

A mi hermano que siempre estuvo para cuando yo necesitara.

Dedico a mis tíos, mis primos y a mi tía Bertha junto con mis abuelitos guían mi
camino para bien.

AGRADECIMIENTO

Agradezco primero a ti Dios por bendecirme y llegar hasta donde he llegado porque hiciste realidad este sueño anhelado.

Agradezco a la Universidad UNTELS por darme la oportunidad de estudiar y ser un profesional.

Agradezco a los profesores que fueron parte de mi carrera Profesional aportando con sus conocimientos en mi formación.

Agradezco a mi colegio de toda la vida V.S.A

Son muchas las personas que han formado parte de mi vida profesional las que me gustaría agradecer su amistad, consejo, apoyo, ánimo y la compañía en momentos más difíciles en mi vida.

Agradezco en especial a mi amiga Danae y a su familia por apoyarme en un momento tan difícil para culminar con la tesis.

A todos ellos muchas gracias y que Dios los bendiga.

ÍNDICE

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
INTRODUCCIÓN	ix
CAPITULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA	1
1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.3 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.3.1 Espacial	3
1.3.2 Temporal.....	3
1.3.3 Teórica	4
1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	4
1.4.1 Problema General.....	4
1.4.2 Problemas Específicos.....	4
1.5 OBJETIVOS	5
1.5.1 Objetivo General	5
1.5.2 Objetivos Específicos.....	5
CAPITULO II MARCO TEÓRICO	6
2.1 ANTECEDENTES	6
2.2 BASES TEÓRICAS.....	10
2.2.1 Escalas de Movimiento de la atmósfera.....	10

2.2.2	Sistema de contaminación atmosférica.....	11
2.2.3	Meteorología y efectos sobre la salud.....	13
2.2.4	Inversión térmica.....	14
2.2.5	Inversiones próximas a la superficie	15
2.2.6	Efectos adversos de la inversión térmica.....	17
2.3	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	18

CAPITULO III DESARROLLO DEL OBJETIVO DE TRABAJO DE

	SUFICIENCIA	20
3.1	MÉTODO.....	20
3.1.1	Tipo de la investigación.....	20
3.2	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	20
3.2.1	Delimitación del área de estudio	20
3.2.2	Materiales.....	21
3.2.3	Equipos	21
3.3	PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO:	22
3.3.1	Determinación de rosas de viento de superficie.....	22
3.3.2	Histogramas de la distribución de frecuencias relativas de la velocidad del viento de superficie	24
3.3.3	Determinación de las clases de estabilidad atmosférica.....	24
3.3.4	Altura de la capa de mezcla.....	27

CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIONES..... 36

4.1	ANÁLISIS DE ROSAS DE VIENTO:.....	37
------------	--	-----------

4.2	CUANTIFICACIÓN DE LAS CLASES DE ESTABILIDAD	
	ATMOSFÉRICA.	39
4.3	ESTIMACIÓN DE LA ALTURA DE LA CAPA DE MEZCLA	42
	CONCLUSIONES	46
	RECOMENDACIONES	48
	ANEXOS: Rosas de viento a nivel horario	49
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61

LISTADO DE CUADROS

Cuadro N° 1	Escalas de movimiento atmosférico.....	12
Cuadro N° 2	Direcciones de la rosa de vientos	23
Cuadro N° 3	Categorías de velocidad de viento.....	24
Cuadro N° 4	Método para calcular la clase de estabilidad atmosférica durante las horas del día (07:01 H – 19:00 H) a partir de la desviación estándar de la dirección horizontal del viento en grados ($\sigma\theta$).....	25
Cuadro N° 5	Método para calcular la clase de estabilidad atmosférica durante las horas de la noche (19:00 H – 07:00 H) a partir de la desviación estándar de la dirección horizontal del viento en grados ($\sigma\theta$)	26
Cuadro N° 6	Parámetros de la ecuación de aproximación lineal del gráfico de Golder	31
Cuadro N° 7	Límites superiores e inferiores para la rugosidad de la superficie (Z_0) de acuerdo a las clases de estabilidad.....	31
Cuadro N° 8	Valores típicos de la rugosidad de la superficie para varios tipos de uso de suelo.....	32
Cuadro N° 9	Resumen por hora de las clases de estabilidad atmosférica - Diciembre 2017 Villa El Salvador / Ovalo Chama (estación meteorológica)	39
Cuadro N° 10	Resumen por hora de las clases de estabilidad atmosférica - Enero 2018 Villa El Salvador / Ovalo Chama (estación meteorológica)	40
Cuadro N° 11	Resumen por hora de las clases de estabilidad atmosférica - Febrero 2018 Villa El Salvador / Ovalo Chama (estación meteorológica)	41

LISTADO DE FIGURAS

Figura N° 1 Sistema de modelación simple de la calidad del aire.....	11
Figura N° 2 Ubicación del área de estudio.....	21
Figura N° 3 Rosa de vientos resumen a nivel horario mensual.....	36

LISTADO DE GRÁFICOS

Gráfico 01 Altura de la capa de mezcla Diciembre 2017 (Promedio Horario Mensual)	42
Gráfico 02: Altura de la capa de mezcla Enero 2018 (Promedio Horario Mensual)	43
Gráfico 03: Altura de la capa de mezcla Febrero 2018 (Promedio Horario Mensual)	44

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación lleva por título “Evaluación de los factores meteorológicos de la contaminación atmosférica en el distrito de Villa El Salvador – verano 2018, el cual servirá para optar el título de Ingeniero ambiental.”, presentado por la bachiller Soria Flores, Deicy Edith.

La estructura que se ha seguido en este trabajo de investigación se compone de 3 capítulos. El primer capítulo comprende el planteamiento del problema, el segundo capítulo el desarrollo del marco teórico y el tercer capítulo corresponde al desarrollo del proyecto.

Los objetivos del presente trabajo de investigación son:

- Determinar los factores meteorológicos relacionados a la contaminación atmosférica en el distrito de Villa El Salvador durante la estación astronómica de verano del año 2018
- Describir el comportamiento temporal de los factores meteorológicos relacionados a la contaminación atmosférica en el distrito de Villa El Salvador durante la estación astronómica de verano del año 2018

El autor

CAPITULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

La contaminación del aire es la presencia de materia indeseable en la composición media del aire troposférico en cantidades bastante grandes como para producir efectos nocivos. (NEVERS, 1998). Esta definición no restringe la contaminación del aire solo a causas humanas, sino también a causas naturales.

La contaminación del aire es un proceso que se inicia a partir de las emisiones al aire desde los distintos focos emisores de contaminantes en la atmósfera. La atmósfera es un medio fluido con una dinámica que hace que la dispersión y el transporte de los contaminantes sean difíciles de estudiar y de prevenir (SCHNELLE, 1999). Así la relación entre la cantidad de contaminantes emitidos al aire y la presencia de estos en el aire en un momento y en un lugar determinado no es una relación directa ni proporcional ni sencilla de conocer, ya que la atmósfera es un sistema complejo con un comportamiento caótico. (BARRY, 1980).

El aire de menor calidad de Lima se respira en distritos del sur, como Villa María del Triunfo, Villa El Salvador y San Juan de Miraflores, por las actividades industriales y otros factores.

En el distrito de Villa El Salvador existe una zona industrial importante e infraestructura vial insuficiente, pocas áreas verdes y transporte de mala calidad, generando la emisión de gases y partículas; los cuales debido a los factores meteorológicos generan contaminación atmosférica en el distrito.

El presente trabajo de investigación analiza los factores meteorológicos relacionados a la contaminación atmosférica en el distrito de Villa El Salvador para la estación astronómica de verano en el año 2018.

1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El presente trabajo de investigación tiene su origen en la preocupación por los consecuentes efectos adversos generados en la población debido a la regular y mala calidad del aire en nuestro distrito.

Por ejemplo en las fiestas de fin de año, debido a los fuegos artificiales y la quema de muñecos generaron una alta contaminación del aire por aerosoles atmosféricos o partículas menores a 2.5 micrones de diámetro equivalente-PM2.5 con valores máximos horarios entre la 00:00 y 03:00 de la madrugada del 01 de enero del 2018, siendo estos bastante mayores a las concentraciones alcanzadas durante el año nuevo del 2016-2017. Para contrastar con el Estándar de Calidad Ambiental del Aire (ECA) se debe considerar los promedios sobre periodos de 24 horas. Estos muestran que el 01 de enero del 2018 la presencia de los aerosoles atmosféricos PM2.5 superó el límite establecido en

el ECA en más de 200% en Ate y San Juan de Lurigancho; alrededor de 150% en Santa Anita y Puente Piedra; 20% en Villa María del Triunfo; y 10% veces en San Martín de Porres.

En lo ambiental, con el aumento del flujo vehicular existe mayor emisión de gases de combustión también, lo cual representa un problema crítico para la salud humana. Además, no solo la población está afectada, sino el hábitat de otros seres vivos.

La investigación recogerá datos meteorológicos sobre los factores meteorológicos de la zona de estudio y evaluará de acuerdo a los resultados obtenidos los eventos de contaminación del aire adversos que se producirían en la población, lo cual simboliza el punto crítico y más preocupante de la problemática planteada.

1.3 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 Espacial

La presente investigación se realizó en el distrito de Villa El Salvador, en el ovalo Chama, ubicado entre las intersecciones de las avenidas Universitaria y Separadora industrial, latitud 12°13'59.08" S y longitud 76°55'4.75" W. Se instaló una estación meteorológica Davis en la azotea de una casa ubicada frente a dicho ovalo.

1.3.2 Temporal

La presente investigación se ha realizado durante el periodo astronómico de verano, desde el 21 de Diciembre 2017 hasta el 10 de Febrero del

2018 para determinar el comportamiento de los factores meteorológicos relacionados a la contaminación atmosférica en el distrito de Villa El Salvador

1.3.3 Teórica

El presente trabajo se centrará en la influencia de los factores meteorológicos en la contaminación atmosférica del distrito de Villa El Salvador.

1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.4.1 Problema General

- ¿Cómo es la meteorología de la contaminación durante la estación astronómica de verano año 2018 en el distrito de Villa El Salvador?

1.4.2 Problemas Específicos.

- ¿Qué factores meteorológicos están relacionados a la contaminación en el distrito de Villa El Salvador durante la estación astronómica de verano año 2018?
- ¿Cómo es el comportamiento temporal de los factores meteorológicos relacionados a la contaminación en el distrito de Villa El Salvador durante la estación astronómica de verano 2018?

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo General

Evaluar la meteorología de la contaminación durante la estación astronómica de verano 2018 en el distrito de Villa El Salvador.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Determinar los factores meteorológicos relacionados a la contaminación en el distrito de Villa El Salvador durante la estación astronómica de verano del año 2018
- Describir el comportamiento temporal de los factores meteorológicos relacionados a la contaminación en el distrito de Villa El Salvador durante la estación astronómica de verano del año 2018.

CAPITULO II MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES

SANCHEZ-CCOYLLO & ORDÓÑEZ-AQUINO (2016) analizan las condiciones meteorológicas de Lima metropolitana y su relación con la contaminación atmosférica para el año 2015, señalando que la menor altura de capa de mezcla para ese año tiene una variación de 374 metros en el mes de abril, lo cual se debió a la disminución de la intensidad del anticiclón del Pacífico sur; mientras que en los meses de junio, julio, agosto, setiembre, octubre, noviembre, diciembre y enero la altura de capa de mezcla varió entre 739.8 y 995.8 metros. Se observó una ligera disminución de enero a abril, luego un ligero aumento hasta junio y finalmente una ligera disminución de junio a diciembre. Con respecto a la temperatura del aire mencionan que hay baja variabilidad térmica debido al efecto termorregulador del vapor de agua en la atmósfera. El valor más alto de la temperatura máxima media fue de 24.6 °C y se registró en febrero en la estación Antonio Raimondi (Ancón); el valor más bajo de la temperatura media fue de 15.8 °C en la estación de Villa María del Triunfo en agosto.

Con respecto a la humedad relativa, señala que el promedio anual fue de 81 % de humedad relativa. En el periodo de verano, la humedad relativa media fue de 77 %; en otoño de 80 %; en invierno de 83 % y en primavera, de 82 %. La estación de Villa María del Triunfo presentó la mayor humedad relativa con 94 % en los meses de agosto y setiembre, mientras que la estación Von Humboldt presentó la menor humedad relativa en febrero con 70 %. Así mismo, la precipitación en la estación de Campo de Marte registró llovizna de 3.2 mm/mes en setiembre y ausencia en el mes de mayo. El Aeropuerto Jorge Chávez presentó lloviznas de 0.8 mm/mes en el mes de julio y ausencia en la estación Antonio Raimondi.

Finalmente con relación al viento, señala que las variaciones mensuales de la velocidad del viento fueron registradas en cinco estaciones meteorológicas (Antonio Raimondi, Aeropuerto Jorge Chávez, Villa María del Triunfo, Campo de Marte y Alexander Von Humboldt). Se observó que los vientos en el aeropuerto fueron mayores que en las demás estaciones con una fluctuación entre 3.5 a 5.5 m/s, mientras que la estación de Campo de Marte registró velocidades entre 1.1 m/s (junio) y 2.6 m/s (noviembre).

El valor más bajo de la velocidad promedio del viento fue de 0.6 m/s en agosto en la estación de Villa María del Triunfo y el valor más alto de la velocidad promedio del viento fue de 5.5 m/s en diciembre en la estación del Aeropuerto Jorge Chávez.

En el ámbito de la contaminación atmosférica por monóxido de carbono en Lima metropolitana para el 2015, la evolución horaria de las concentraciones de monóxido de carbono en los días de la semana del año 2015 registrada en la estación ubicada en la zona sur de Lima (Villa María del Triunfo), se

presentaron concentraciones máximas de 543.38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en las madrugadas (00:00 hasta las 05:00 horas)

SENAMHI (2018), en su boletín mensual sobre Vigilancia de la Calidad del Aire de Lima Metropolitana detalla las condiciones sinópticas y meteorológicas locales, mencionando que el Anticiclón del Pacífico Sur (APS) muestra condiciones normales (media del núcleo 1022.5 hPa). Sin embargo, debido al afloramiento activo de la corriente fría de Humboldt y la presencia del evento La Niña, la temperatura superficial del mar (TSM) en bajas y altas latitudes presentan anomalías de -1°C y $+1^\circ\text{C}$, respectivamente. Estas condiciones ocasionaron que en la ciudad de Lima la temperatura y la humedad relativa se muestren por debajo y por encima de sus valores normales (1980-2014), respectivamente.

El comportamiento promedio mensual de la temperatura, humedad relativa y velocidad del viento fue de 23°C , 76% y 2.6 m/s, respectivamente.

Asimismo, la inversión térmica obtenida de los lanzamientos de radiosondeo (07 horas) en el aeropuerto Jorge Chávez dan en promedio, una altura de su base a 367 m.s.n.m., espesor de 350 m y un gradiente térmico medio de $0.7^\circ\text{C}/100\text{ m}$, estableciendo condiciones débilmente estables. En este periodo, la altura de su base estuvo por debajo de su valor normal (891.5 m.s.n.m.) como consecuencia de la temperatura superficial del mar levemente fría en la zona central del litoral.

Las condiciones meteorológicas influenciadas por el evento La Niña ocasionaron una disminución en la temperatura y la velocidad del viento, mientras que la humedad se incrementó causando que las concentraciones de material particulado PM10 no aumente significativamente; y las

concentraciones del material particulado PM2.5 aumenten ligeramente.

Al evaluar el ciclo horario del PM10, se observó que las condiciones meteorológicas locales tales como vientos débiles y bajas temperaturas no favorecieron su dispersión. Cabe resaltar que las condiciones desfavorables para la dispersión en el Área Metropolitana de Lima – Callao se presentan durante las horas de mayor actividad vehicular.

Las celebraciones por año nuevo incrementaron las concentraciones de PM10, particularmente en Lima Norte (Puente Piedra y Carabayllo), en 2.5 y 2 veces el ECA, respectivamente. En tanto que en Lima Este, el distrito más afectado fue Ate, que superó en 2.8 veces el ECA. Asimismo, incrementaron el PM2.5, en Lima Norte (Puente Piedra) en 2.4 veces el ECA; en Lima Este (Ate y San Juan de Lurigancho), en 3.1 veces en cada distrito.

La Vigilancia Atmosférica durante enero del 2018 demuestra que las concentraciones de los gases monitoreados SO₂, NO₂, CO y O₃ no superaron sus respectivos ECA, a diferencia del material particulado que superó en diferentes días. Los distritos que superaron continuamente el ECA diario de PM10 (100 µg/m³) fueron Puente Piedra (19 días), Ate (18 días) y San Juan de Lurigancho (9 días) y con respecto al PM2.5 el ECA diario (50 µg/m³) fue superado en Ate (2 días), San Juan de Lurigancho (1 día), Puente Piedra (1 día) y San Martín de Porres (1 día).

SILVA & MONTROYA (2005) analizan la relación entre el comportamiento estacional de los contaminantes sólidos sedimentables con las condiciones meteorológicas predominantes en la zona metropolitana de Lima-callao durante el año 2004. La evaluación de las condiciones meteorológicas para dicho año se ha basado en la información de la estación automática y de radiosondaje del

Aeropuerto Internacional Jorge Chávez, los resultados fueron los siguientes:

En verano (febrero), las temperaturas presentaron un comportamiento ascendente y pese a ser el mes típico de verano, la humedad alcanzó la saturación. La temperatura del aire tuvo una media de 23°C, mientras que la humedad relativa promedio fue de 82%.

En otoño (abril) la temperatura media fue de 20,4°C, y la humedad relativa promedio de 85%. Durante la estación de invierno (agosto) los días se presentaron nublados parciales a despejados con brillo solar hacia el mediodía y con ligeras precipitaciones en horas de la noche principalmente durante la segunda quincena. La temperatura promedio fue de 16,5°C, mientras que la humedad relativa de 84%. Finalmente en la primavera (noviembre) hubo presencia de brillo solar hacia el mediodía y extendiéndose hacia horas de la tarde. El promedio de la temperatura del aire fue de 19,4°C, mientras que la humedad relativa de 82%.

2.2 BASES TEÓRICAS

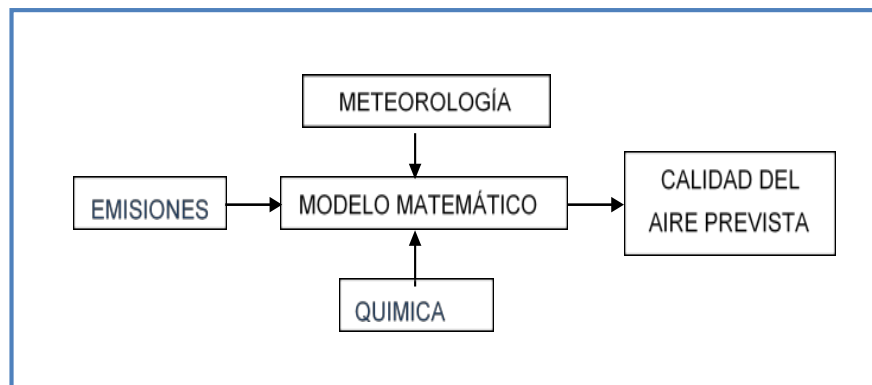
2.2.1 Escalas de Movimiento de la atmósfera

Los fenómenos atmosféricos se clasifican en cuatro clases o escalas basadas en el alcance horizontal y la duración de estos. Las cuatro escalas son: microescala, mesoescala, escala sinóptica, y escala global. Ver cuadro No 05. Si nos movemos en cada escala a partir de la microescala, perdemos detalles del movimiento del aire de la escala anterior. Cada escala tiene sus propios fenómenos, los cuáles contienen al fenómeno de la escala anterior. (DEMETRI, 1996)

2.2.2 Sistema de contaminación atmosférica

KIELY, (1999) plantea que la calidad del aire como sistema de modelación está integrado por los siguientes componentes. **Ver figura N° 01**

Figura N° 1 Sistema de modelación simple de la calidad del aire



Fuente: (KIELY, 1999)

Cuadro N° 1 Escalas de movimiento atmosférico

Horizonte meteorológico		Escalas de medición		Fenómenos asociados
Escala	Tiempo	Horizontal	Vertical	
Microescala (fuerza de Coriolis despreciable)	Segundos a horas	1 mm hasta 1 Km	Desde la superficie hasta los 100 m	<ul style="list-style-type: none"> – Tornado de pequeñas turbulencias – Gradientes superficiales – Efectos de fricción en la capa limite – Efectos topográficos
Mesoescala (escala de pronóstico del tiempo meteorológico)	Horas a días	1 Km hasta 100 Km	Desde la superficie hasta 1 Km	<ul style="list-style-type: none"> – Grandes turbulencias – Vientos de mar y continente – Islas de calor urbano – Vientos de valle y de montaña
Sinóptica (escala ciclónica)	Días a semanas	Países a continentes	Desde la superficie hasta los 10 ó 15 Km	<ul style="list-style-type: none"> – Sistemas de tormentas – Formaciones nubosas – Frentes de tiempo
Global	Días a años	100 Km a todo el hemisferio	Desde la superficie hasta los 20 Km	<ul style="list-style-type: none"> – Efectos globales

Fuente: (SCHNELLE, 1999)

2.2.3 Meteorología y efectos sobre la salud

La concentración de los contaminantes se reduce al dispersarse éstos en la atmósfera, proceso que depende de factores climatológicos como la temperatura, la velocidad del viento, el movimiento de sistemas de altas y bajas presiones y la interacción de éstos con la topografía local, por ejemplo las montañas y valles. La temperatura suele decrecer con la altitud, pero cuando una capa de aire frío se asienta bajo una capa de aire caliente produciendo una inversión térmica, la mezcla atmosférica se retarda y los contaminantes se acumulan cerca del suelo. Las inversiones pueden ser duraderas bajo un sistema estacionario de altas presiones unido a una baja velocidad del viento.

Un periodo de tan sólo tres días de escasa mezcla atmosférica puede llevar a concentraciones elevadas de productos peligrosos en áreas de alta contaminación y, en casos extremos, producir enfermedades e incluso la muerte. En 1948 una inversión térmica sobre Donora, Pennsylvania, produjo enfermedades respiratorias en más de 6.000 personas ocasionando la muerte de veinte de ellas. En Londres, la contaminación segó entre 3.500 y 4.000 vidas en 1952, y otras 700 en 1962. La liberación de isocianato de metilo a la atmósfera durante una inversión térmica fue la causa del desastre de Bhopâl, India, en diciembre de 1984, que produjo al menos 3.300 muertes y más de 20.000 afectados. Los efectos de la exposición a largo plazo a bajas concentraciones de contaminantes no están bien definidos; no obstante, los grupos de riesgo son los niños, los ancianos, los fumadores, los trabajadores expuestos al contacto con materiales tóxicos y quienes

padecen enfermedades pulmonares o cardíacas. Otros efectos adversos de la contaminación atmosférica son los daños que pueden sufrir el ganado y las cosechas.

A menudo los primeros efectos perceptibles de la contaminación son de naturaleza estética y no son necesariamente peligrosos. Estos efectos incluyen la disminución de la visibilidad debido a la presencia de diminutas partículas suspendidas en el aire, y los malos olores, como la pestilencia a huevos podridos producida por el sulfuro de hidrógeno que emana de las fábricas de papel y celulosa.

2.2.4 Inversión térmica

Aumento de la temperatura con la altitud en una capa de la atmósfera. Como la temperatura suele descender con la altitud hasta el nivel de los 8 a 16 km de la troposfera a razón de aproximadamente $6,5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}$, el aumento de la temperatura con la altitud se conoce como inversión del perfil de temperatura normal. Sin embargo, se trata de una característica común de ciertas capas de la atmósfera. Las inversiones térmicas actúan como tapaderas que frenan los movimientos ascendentes de la atmósfera. En efecto, el aire no puede elevarse en una zona de inversión, puesto que es más frío y, por tanto, más denso en la zona inferior.

2.2.5 Inversiones próximas a la superficie

En las noches claras se produce una inversión en la superficie o muy cerca de ella a consecuencia del escape de radiación de longitud de onda larga desde la superficie terrestre y las capas altas de la atmósfera, seguido del consiguiente enfriamiento. Al amanecer, la masa de aire frío pegada a la superficie puede tener varias decenas de metros de espesor, aunque este valor puede ser muy superior en regiones montañosas o accidentadas, ya que el aire frío desciende por las laderas y se acumula en el fondo de los valles. Las inversiones próximas a la superficie son comunes en regiones cubiertas de hielo y nieve, como las zonas polares, debido a la radiación y el enfriamiento por conducción; además, en estas regiones el aire cálido debe atravesar la superficie marina fría.

Inversiones atmosféricas

Lejos de la superficie terrestre, las inversiones de temperatura se deben al descenso y el consiguiente calentamiento del aire en los anticiclones (áreas atmosféricas de alta presión), o a la penetración de masas de aire frío en otras más cálidas. Dentro de los anticiclones, incluidos los situados sobre los amplios cinturones subtropicales, el aire de las capas secas situadas bajo la tropopausa (límite entre la troposfera y la estratosfera) desciende a razón de aproximadamente 1 km al día como parte de la circulación atmosférica a gran escala y, en el curso de este desplazamiento, se calienta por compresión. El descenso suele interrumpirse a una altitud de aproximadamente 1 km, una zona donde el aire que desciende es más cálido y se apoya sobre la parte superior

de una capa atmosférica enfriada por la superficie o procedente de regiones más frías, o que se está elevando a consecuencia de movimientos de convección o de turbulencias próximos a la superficie. La base de la inversión en torno a los anticiclones subtropicales, centrados aproximadamente a 30° al norte y al sur del ecuador, se encuentra a una altitud próxima a los 500 m, y por encima la temperatura puede aumentar más de 10 °C por km. La base está más elevada hacia el ecuador a lo largo de la dirección noreste y sureste de los alisios, y puede llegar hasta 2.000 m. En la zona de convergencia de los alisios penetran en la inversión masas de grandes cumulonimbos que inyectan enormes cantidades de humedad y calor en las capas altas de la atmósfera.

Son ejemplos de penetración de masas de aire cálido por corrientes frías los flujos de los frentes cálidos y fríos; el caso más destacado es el de los monzones; los flujos que sobrevuelan lagos o mares relativamente fríos (la brisa marina, por ejemplo) y penetran durante el día en las masas continentales adyacentes, mientras que de noche se dirigen desde tierra hacia el mar. Las inversiones por encima de las brisas están a casi 1 km de la superficie, mientras que las que afectan a frentes cálidos y fríos pueden encontrarse dentro de la troposfera. La temperatura aumenta con la altitud también en la estratosfera; el aumento es más acusado en las capas medias y altas situadas entre 20 y 50 km de altitud.

2.2.6 Efectos adversos de la inversión térmica

Aunque los anticiclones suelen estar limpios de nubes cuando las capas de subinversión y la superficie están secas (sobre interiores continentales y desiertos, por ejemplo), las inversiones térmicas pueden atrapar nubes, humedad, contaminación y polen de capas próximas a la superficie, pues interrumpen la elevación del aire desde las capas bajas. Los estratocúmulos de bajo nivel pueden adquirir un carácter extenso y persistente y provocar una 'oscuridad anticiclónica', sobre todo si el aire viene del mar. Cuando la velocidad del aire es baja a consecuencia de la inversión, los gases de escape de los automóviles y otros contaminantes no se dispersan y alcanzan concentraciones elevadas, sobre todo en torno a centros urbanos como Atenas, Los Ángeles, Londres y la ciudad de México. La mala calidad del aire a que ello da lugar aumenta la tasa de asma y otras afecciones respiratorias e incluso eleva la mortalidad. Esta clase de inversiones que atrapan la contaminación pueden durar varios días en verano. La conciencia de la gravedad del problema, sobre todo en los veranos más calurosos, ha llevado a los organismos competentes a vigilar la calidad del aire y a advertir cuando es mala y alcanza unos niveles elevados.

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Coriolis, fuerza de: Es una fuerza aparente que desvía los cuerpos en un sistema en rotación. La fuerza de Coriolis es siempre perpendicular a la dirección de la velocidad de los cuerpos ó parcelas de fluido. Es una fuerza que se tiene que incluir cuando se analiza el movimiento de un cuerpo desde un sistema de referencia no- inercial, como es la tierra en rotación.

Coriolis, parámetro: El factor $f (= 2 \Omega \sin\varphi)$ donde Ω es la velocidad angular de la tierra y φ es la latitud.

Corriente de aire: Son los vientos que se observan en la atmósfera.

Efecto de Coriolis: Es la fuerza aparente que desvía al viento o a cualquier parcela de fluido u objeto en movimiento, a la derecha, en el hemisferio norte, o a la izquierda en el hemisferio sur.

Estabilidad condicional (o inestabilidad condicional): El estado de una columna de aire en que su distribución vertical de temperatura es tal que puede ser estable para aire seco, pero inestable para aire saturado.

Inestabilidad: es la propiedad de un sistema en estado estacionario donde algunas perturbaciones pueden crecer en magnitud.

Meteorología: Rama de la física que estudia la atmósfera y los fenómenos físicos que en ella se presentan.

Meteorología sinóptica: Es la rama de la meteorología que estudia los fenómenos atmosféricos por medio del análisis de las observaciones y datos de los distintos parámetros.

Rosa de frecuencia de los vientos: Es la representación en un sistema de coordenadas de las características estadísticas (frecuencia, dirección, velocidad) de los vientos.

Turbulencia: es el movimiento irregular y caótico que tienen los fluidos. La turbulencia se genera cuando un objeto o el mismo fluido se mueven a través de un líquido o un gas, los cuales hacen fricción. Cuando el objeto o la parcela de fluido se mueve sin fricción entonces se dice que se tiene un flujo laminar.

Velocidad vertical: En meteorología es la componente del vector de viento a lo largo de la dirección vertical o eje -z-.

Capa de mezcla: Es la región de influencia del viento sobre la superficie oceánica, donde se genera una intensa turbulencia y movimiento del agua superficial.

CAPITULO III DESARROLLO DEL OBJETIVO DE TRABAJO DE SUFICIENCIA

3.1 MÉTODO

3.1.1 Tipo de la investigación

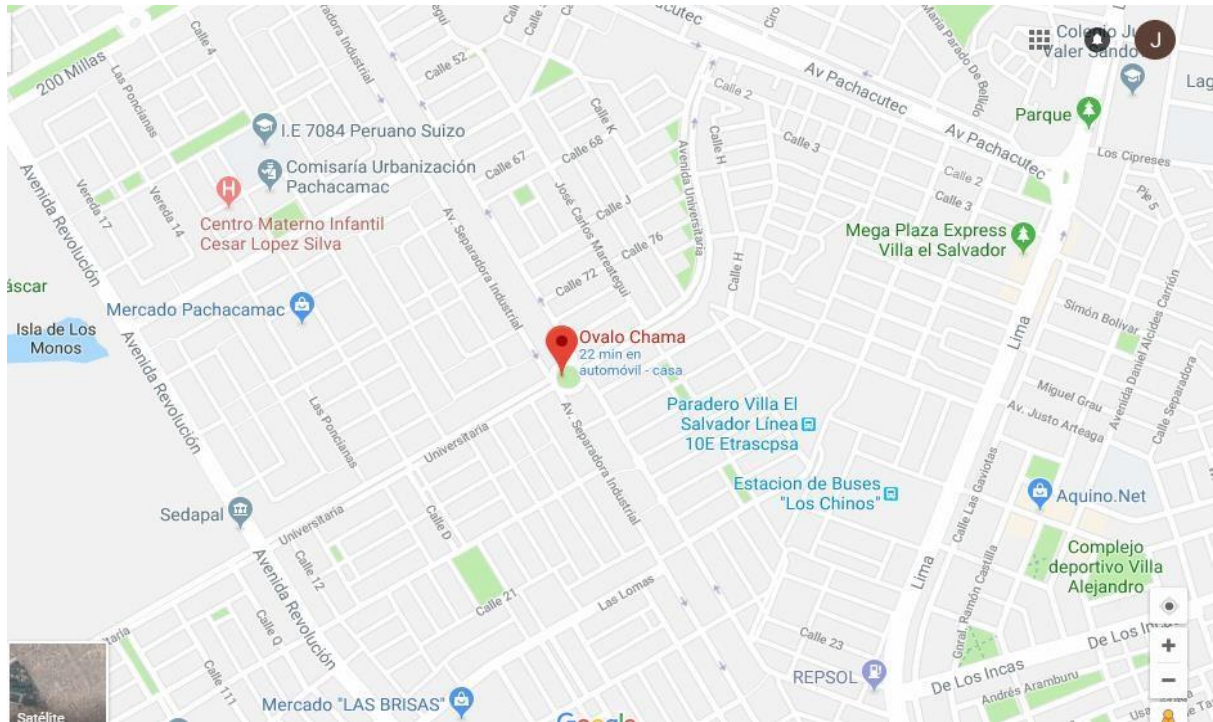
La investigación realizada presenta un el tipo de investigación descriptiva explicativa ya que se obtuvieron los datos de los factores meteorológicos que inciden en la contaminación del distrito de Villa El Salvador durante la estación astronómica de verano en el año 2018.

3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1 Delimitación del área de estudio

La presente investigación se realizó en el distrito de Villa El Salvador, provincia y departamento de Lima, se tomó como lugar de instalación y toma de datos meteorológicos el ovalo Chama, ubicado entre las intersecciones de las avenidas Universitaria y Separadora industrial, latitud sur de 12°13'59.08"S y longitud oeste de 76°55'4.75", por las facilidades técnicas y de seguridad para el equipo. Se instaló una estación meteorológica Davis en la azotea de una casa ubicada frente a dicho óvalo.

Figura N° 2 Ubicación del área de estudio



3.2.2 Materiales

- Software Microsoft Office Word 2007
- Software Microsoft Office Excel 2007
- Software WRPLOT View 14.0
- Cuaderno de campo
- Lapiceros

3.2.3 Equipos

- Estación meteorológica vantage pro2
- Equipo de sistema de geoposicionamiento global - GPS
- Cámara fotográfica
- Computadora portátil

3.3 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO:

Factores meteorológicos de la contaminación atmosférica

Los **factores meteorológicos** relevantes para contaminación atmosférica fueron: velocidad y dirección del viento (transporte horizontal del aire), estabilidad atmosférica (transporte vertical de la atmósfera) y altura de la capa de mezcla atmosférica (espacio vertical disponible para la mezcla de los contaminantes atmosféricos) (NSWEPA, 2001).

3.3.1 Determinación de rosas de viento de superficie

Se realizó mediante la tabulación estadística de la distribución de frecuencias absolutas y relativas de las categorías de velocidad y dirección del viento registrados de forma horaria por la estación meteorológica automática ubicada en el ovalo Chama.

En la tabulación se consideraron 16 direcciones de viento en grados sexagesimales ($^{\circ}$) y 6 categorías de velocidad de viento (m/s); también se consideró la ocurrencia de calmas si la velocidad registrada por el sensor de viento fue menor a 0.54 m/s. Ver cuadros N° 2 y N° 3 respectivamente.

El punto inicial para empezar las direcciones es el norte magnético (0°), avanzando en sentido horario, y la dirección registrada es la dirección de donde viene el viento. La rosa de vientos muestra las 16 direcciones con las respectivas ocurrencias de velocidad en cada una de las categorías de velocidad establecidas, expresadas en % con respecto al total de datos válidos, incluyendo las calmas.

Para realizar todo ello se utilizó un programa especial de procesamiento de información de viento y estabilidad atmosférica denominado WRPLOT versión 8.0. Los resultados obtenidos fueron rosas de vientos de 16 direcciones, cada rosa con su respectivo vector resultante.

Cuadro N° 2 Direcciones de la rosa de vientos

Sector	Nomenclatura	Sectores (en grados Sexagesimales) [Li – Ls]
1	N (Norte)	[348.75° – 11.25°]
2	NNE (Nor-Nor-Este)	[11.25° – 33.75°]
3	NE (Nor-Este)	[33.75° – 56.25°]
4	ENE (Este-Nor-Este)	[56.25° – 78.75°]
5	E (Este)	[78.75° – 101.25°]
6	ESE (Este-Sur-Este)	[101.25° – 123.75°]
7	SE (Sur-Este)	[123.75° – 146.25°]
8	SSE (Sur-Sur-Este)	[146.25° – 168.75°]
9	S (Sur)	[168.75° – 191.25°]
10	SSO (Sur-Sur-Oeste)	[191.25° – 213.75°]
11	SO (sur-Oeste)	[213.75° – 236.25°]
12	OSO (Oeste-Sur-Oeste)	[236.25° – 258.75°]
13	O (Oeste)	[258.75° – 281.25°]
14	ONO (Oeste-Nor-Oeste)	[281.25° – 303.75°]
15	NO (Nor-Oeste)	[303.75° – 326.25°]
16	NNO (Nor-Nor-Oeste)	[326.25° – 348.75°]

Cuadro N° 3 Categorías de velocidad de viento

Clase (m/s)	Nomenclatura
[0.54 – 1.54 >	Débil
[1.54 – 3.09 >	Moderado
[3.09 – 5.14 >	Fuerte
[5.14 – 8.23 >	Muy fuerte
[8.23 – 10.8 >	Extremadamente fuerte
>= 10.8	Vientos huracanados

3.3.2 Histogramas de la distribución de frecuencias relativas de la velocidad del viento de superficie

Los gráficos de histogramas de las frecuencias relativas de las clases de viento se realizaron contabilizando la ocurrencia del viento a nivel horario en cada una de las categorías de velocidad de viento adoptadas.

3.3.3 Determinación de las clases de estabilidad atmosférica

La determinación de las clases de estabilidad atmosférica se realizó empleando la metodología sugerida por la USEPA, (1992), BEYCHOK, (1994) y Ministerio de Energía y Minas, (1994). Dicha metodología establece clases de estabilidad atmosférica a través de la desviación estándar de la dirección horizontal del viento ($\sigma\theta$). Es decir, se asume que no existen componentes del viento en la dirección vertical ni transversal al viento medio. La desviación estándar de la dirección horizontal del viento ($\sigma\theta$) es una medida de la intensidad de la turbulencia atmosférica, y es usada para obtener las categorías de turbulencia atmosférica o

clases de estabilidad atmosférica cuando no es posible calcularla con el método de Holzworth. (USEPA, 2000). La desviación estándar es registrada automáticamente por la estación meteorológica automática, tomando mediciones de las direcciones de viento cada 5 minutos, y sacando la desviación estándar de dichas direcciones cada hora; de tal forma que el resultado es un registro de desviación estándar de la dirección horizontal del viento para cada hora.

3.3.3.1 **Para condiciones diurnas** (07:01 H – 19:00 H) la metodología emplea solamente la desviación estándar de la dirección horizontal del viento (σ_{θ}) en la hora considerada. Ver cuadro N° 04.

Cuadro N° 4 Método para calcular la clase de estabilidad atmosférica durante las horas del día (07:01 H – 19:00 H) a partir de la desviación estándar de la dirección horizontal del viento en grados (σ_{θ})

Clase de estabilidad para horas del día	Desviación estándar de la dirección horizontal del viento en grados (σ_{θ})
A	$\sigma_{\theta} \geq 22.5^{\circ}$
B	$22.5^{\circ} > \sigma_{\theta} \geq 17.5^{\circ}$
C	$17.5^{\circ} > \sigma_{\theta} \geq 12.5^{\circ}$
D	$12.5^{\circ} > \sigma_{\theta} \geq 7.5^{\circ}$
E	$7.5^{\circ} > \sigma_{\theta} \geq 3.8^{\circ}$
F	$\sigma_{\theta} < 3.8^{\circ}$

Fuente: (Ministerio de Energía y Minas, 1994)

3.3.3.2 **Para condiciones nocturnas** (19:01 H – 07:00 H) se emplea el procedimiento para condiciones diurnas antes indicado y la velocidad del viento respectiva de la hora considerada. Ver cuadro N° 04. Se ha empleado esta metodología por la adecuada base estadística que emplea para explicar la intensidad de la turbulencia atmosférica, la cual sirve para determinar las clases de estabilidad atmosférica.

Cuadro N° 5 Método para calcular la clase de estabilidad atmosférica durante las horas de la noche (19:00 H – 07:00 H) a partir de la desviación estándar de la dirección horizontal del viento en grados (σ_θ)

Desviación estándar de la dirección horizontal del viento en grados (σ_θ)	Velocidad del viento U en m/s	Clase de estabilidad para horas de la noche
$\sigma_\theta \geq 22.5^\circ$	$2.9 > U$	F
$\sigma_\theta \geq 22.5^\circ$	$3.6 > U \geq 2.9$	E
$\sigma_\theta \geq 22.5^\circ$	$U > 3.6$	D
$22.5^\circ > \sigma_\theta \geq 17.5^\circ$	$2.4 > U$	F
$22.5^\circ > \sigma_\theta \geq 17.5^\circ$	$3.0 > U \geq 2.4$	E
$22.5^\circ > \sigma_\theta \geq 17.5^\circ$	$U \geq 3.0$	D
$17.5^\circ > \sigma_\theta \geq 12.5^\circ$	$2.4 > U$	E
$17.5^\circ > \sigma_\theta \geq 12.5^\circ$	$U \geq 2.4$	D
$12.5^\circ > \sigma_\theta \geq 7.5^\circ$	Ninguna limitación	D
$7.5^\circ > \sigma_\theta \geq 3.8^\circ$	Ninguna limitación [a]	
$\sigma_\theta < 3.8^\circ$	Ninguna limitación [b]	

NOTA: Estos criterios se aplican únicamente en horas de la noche, con las

limitaciones siguientes:

^[a] para velocidades de viento mayores de 5 m/s se empleará condiciones neutrales (D).

^[b] para velocidades de viento mayores de 5 m/s se empleará condiciones neutrales (D). En el caso de velocidades de viento entre 3 y 5 m/s se deberá usar la clase E

Fuente: (Ministerio de Energía y Minas, 1994)

Para el presente trabajo de investigación los cálculos de la clase de estabilidad atmosférica para cada hora y durante todo el periodo representativo de la estación astronómica de verano del año 2018 se han realizado empleando el programa de hoja de cálculo Excel y la graficación temporal de las estabilidades a nivel horario mensual, esto con el fin de distinguir los tipos de estabilidad atmosférica presentes en cada hora del día en un mes.

3.3.4 Altura de la capa de mezcla

La altura de la capa de mezcla se estimó de acuerdo a la metodología recomendada por la Autoridad de Protección Ambiental de Nueva Gales del Sur, Sydney, Australia. (NSWEPA, 2001). Dicha metodología estima la altura de la capa de mezcla originada por factores mecánicos o turbulencia mecánica. No considera la turbulencia térmica. La capa de mezcla obtenida es para un entorno urbano, porque más del 50% del área de estudio está ocupado por construcciones, y además por accidentes geográficos como montañas. (USEPA, 2000).

Todos los cálculos de los procedimientos de la metodología para calcular la capa de mezcla fueron realizados con el programa Excel, obteniéndose resultados a nivel horario, es decir, un valor de altura de

capa de mezcla para cada hora, y así de esta manera para todo el periodo de estudio. A continuación se detalla dicha metodología. **Altura de la capa de mezcla (h) por turbulencia mecánica para las clases de estabilidad A–D**

Para calcular la altura de la capa de mezcla (h) por turbulencia mecánica para las clases de estabilidad atmosférica A–D, se usa la siguiente ecuación:

$$h = 0.3 \times \left(\frac{u^*}{f} \right)$$

Donde:

h = altura de la capa de mezcla (m)

u* = velocidad de fricción superficial (m/s)

f = parámetro de Coriolis

La velocidad de fricción (u*) es calculada con expresiones que dependen de las categorías de estabilidad atmosféricas, se describen en el ítem d.

3.3.4.1 Altura de la capa de mezcla (h) por turbulencia mecánica para las clases de estabilidad E–F

Para calcular la altura de la capa de mezcla (h) por turbulencia mecánica para las clases de estabilidad atmosférica E–F, se usa la siguiente ecuación:

$$h = 0.4 \times \left(\frac{u^*}{(1/L)f} \right) \times 0.5$$

Donde:

h = altura de la capa de mezcla (m)

u* = velocidad de fricción superficial (m/s)

f = parámetro de Coriolis

L = altura de la capa de Monin–Obukhov (m)

3.3.4.2 Altura de la capa de Monin-Obukhov (L)

La altura de la capa de Monin–Obukhov, L, caracteriza la estabilidad atmosférica de la capa atmosférica adyacente al suelo (capa superficial). La capa superficial es definida como la capa por encima del suelo, en la cual la variación vertical del calor y del momentum de flujo es insignificante. La capa superficial comúnmente es el 10% de la altura de la capa de mezcla. La altura de la capa de Monin–Obukhov, L, puede ser calculado mediante el uso de la ecuación de aproximación lineal del gráfico de Golder mencionado por la NSW EPA (2001). Dicha ecuación es:

$$\frac{1}{L} = X + Y \times (\text{Log}_{10}(Z_o))$$

Donde:

L = altura de la capa de Monin-Obukhov (m)

X, Y = parámetros que dependen de la clase de estabilidad atmosférica.

(Ver cuadro N° 05)

Zo = Rugosidad de la superficie (m).

- El valor de Z_o es la rugosidad de la superficie o suelo, a menos que la altura de la rugosidad de la superficie esté fuera del rango ($Z_o \text{ min} - Z_o \text{ max}$) presentado en el cuadro N° 06.
- Si la rugosidad de la superficie (Z_o) es $< Z_o \text{ min}$, entonces se debe usar el valor de $Z_o \text{ min}$ para Z_o .
- Si la rugosidad de la superficie (Z_o) es $> Z_o \text{ max}$ entonces se debe usar el valor de $Z_o \text{ max}$ para Z_o .
- La rugosidad considerada para la zona de estudio es 0.4 m, dado que en la zona de estudio predominan las viviendas y algunos comercios. Ver cuadro N° 07.

Cuadro N° 6 Parámetros de la ecuación de aproximación lineal del gráfico de Golder

Clase de estabilidad atmosférica						
Parámetro	A	B	C	D	E	F
X	-0.096	-0.037	-0.002	0.000	0.004	0.035
Y	0.029	0.025	0.018	0.000	-0.018	-0.0365

Fuente: (NSWEPA, 2001)

Cuadro N° 7 Límites superiores e inferiores para la rugosidad de la superficie (Z_o) de acuerdo a las clases de estabilidad

Clase de estabilidad atmosférica						
Parámetro	A	B	C	D	E	F
Z_o min (m)	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Z_o max (m)	0.029	0.025	0.018	0.000	-0.018	-0.0365

Fuente: (NSWEPA, 2001)

Cuadro N° 8 Valores típicos de la rugosidad de la superficie para varios tipos de uso de suelo

Tipo de uso de suelo	Rugosidad, Z_0 (m)
Zona de montañas	2.0
Área industrial	0.8
Zona de bosque	0.8
Zona rural ondulada	0.4
Desierto plano	0.01
Zona con elevaciones altas	1.0
Zona comercial	0.8
Zona residencial	0.4
Zona rural plana	0.1
Cuerpo de agua	0.0001

Fuente: (NSWEPA, 2001)

3.3.4.1.1. Velocidad de fricción superficial (u^*)

La velocidad de fricción superficial (u^*) es una medida de la turbulencia mecánica y está directamente relacionado con la rugosidad de la superficie. Puede ser calculado a través del siguiente procedimiento. (NSWEPA, 2001):

- **Condición 1: si la velocidad del viento = 0**

$$u^* = 0.001 \text{ m/s}$$

$$u^* = \text{velocidad de fricción superficial (m/s)}$$

- **Condición 2: si predominan condiciones inestables (clases de estabilidad atmosférica A, B o C, ó si $1/L < 0$)**

$$u^* = VK \times \left(\frac{W_{sp}}{\phi} \right)$$

u^* = velocidad de fricción superficial (m/s)

VK = constante de Von Karman = 0.4

W_{sp} = valor absoluto de la velocidad del viento a la altura Z_r (m/s)

ϕ = calculado de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\phi = \ln(Z_r / Z_o) + \ln \left[\frac{((PZ_o)^2 + 1.0) \times (Pz_o + 1.0)^2}{((PZ_r)^2 + 1.0) \times (Pz_r + 1.0)^2} \right] + 2 \times (\tan^{-1}(PZ_r) - \tan^{-1}(PZ_o))$$

Z_r = altura de referencia de la medición del viento (m). Para la zona de estudio, $Z_r = 10$ m, porque el sensor de medición del viento (anemómetro) está a 10 m.

Z_o = rugosidad de la superficie (m). Para la zona de estudio se adoptó 0.4m.

PZ_o y PZ_r calculados de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$PZ_o = \left(1.0 - 15.0 \times \left(\frac{Z_o}{L} \right) \right)^{0.25}$$

$$PZ_r = \left(1.0 - 15.0 \times \left(\frac{Z_r}{L} \right) \right)^{0.25}$$

L = altura de la capa de Monin-Obukhov (m)

- **Condición 3: si predominan condiciones neutrales (clase de estabilidad atmosférica D, ó si $1/L = 0$)**

$$u^* = VK \times \left(\frac{W_{sp}}{\ln(Z_r/Z_o)} \right)$$

u^* = velocidad de fricción superficial (m/s)

VK = constante de Von Karman = 0.4

W_{sp} = valor absoluto de la velocidad del viento a la altura Z_r (m/s)

Z_r = altura de referencia de la medición del viento (m)

Z_o = rugosidad de la superficie (m)

- **Condición 4: si predominan condiciones estables (clases de estabilidad atmosférica E ó F, ó si $1/L > 0$)**

$$u^* = VK \times \left(\frac{W_{sp}}{\ln(Z_r / Z_o) + \left(\frac{4.7}{L \times (Z_r - Z_o)} \right)} \right)$$

u^* = velocidad de fricción superficial (m/s)

VK = constante de Von Karman = 0.4

W_{sp} = valor absoluto de la velocidad del viento a la altura Z_r (m/s)

Z_r = altura de referencia de la medición del viento (m). Para la zona de estudio, $Z_r = 10$ m.

Z_o = rugosidad de la superficie (m). Para la zona de estudio es 0.4 m.

L = altura de la capa de Monin-Obukhov (m)

3.3.4.1.2. El parámetro de Coriolis (f)

$$f = 2 \times \Omega \times \text{seno}(\phi)$$

f = parámetro de Coriolis

Ω = velocidad de rotación de la tierra ($2\pi/86400$ ó 7.29×10^{-5} rad.s⁻¹)

π = 3.1416 radianes (rad)

86400 = número de segundos por día (s/día)

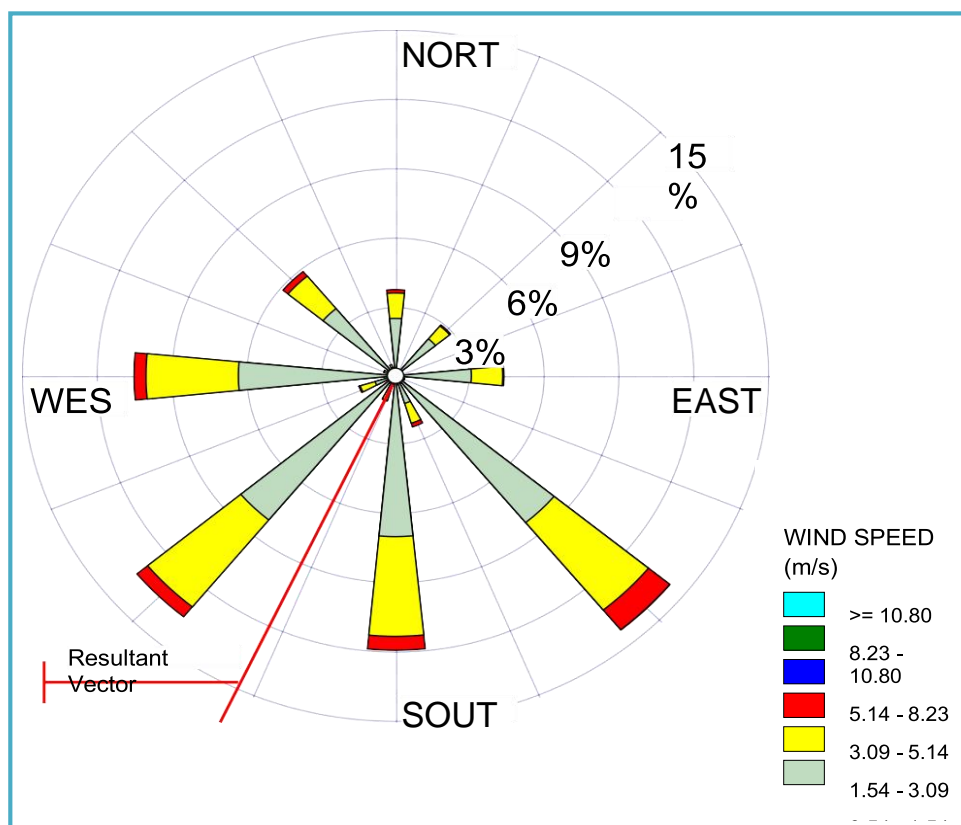
ϕ = latitud en radianes (rad). La latitud para la zona de estudio es 12.14° de latitud sur, cuya equivalencia en radianes es 0.2188 rad.

CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIONES

Factores meteorológicos relacionados a la contaminación atmosférica en el distrito de Villa El Salvador durante la estación astronómica de verano del año 2018.

Cuantificación de la dirección y velocidad del viento de superficie.

Figura N° 3 Rosa de vientos resumen a nivel horario mensual.



- A nivel promedio mensual (Figura N° 02), predomina el viento de dirección SE con 14.25% de prevalencia, con 3 categorías de velocidad: 0.5 m/s - 1.5 m/s (8.2 %), 1.5 m/s – 3.1 m/s (4.9 %) y 3.1 m/s – 5.1 m/s (1.1 %).
- En segundo lugar el viento de dirección SO con 13,5%, con tres categorías de velocidad: 0.5 m/s - 1.5 m/s (8%), 1.5 m/s – 3.1 m/s (4.8 %) y 3.1 m/s – 5.1 m/s (0.6 %).
- En tercer lugar viento del S con 12% con tres categorías de velocidad: 0.5 m/s - 1.5 m/s (6.9%), 1.5 m/s – 3.1 m/s (4.3 %) y 3.1 m/s – 5.1 m/s (0.6 %).
- Finalmente vientos del O con 10.5% de prevalencia, con tres categorías de velocidad: 0.5 m/s - 1.5 m/s (6.3%), 1.5 m/s – 3.1 m/s (3.7 %) y 3.1 m/s – 5.1 m/s (0.5 %). Se nota la presencia de calmas (velocidad del viento ≤ 0.5 m/s); es decir ausencia de viento, en un 25,8 % del total de datos.
- A nivel horario mensual el vector resultante indica viento del SSO, representando a la dirección promedio resultante del viento en un 30%.

4.1 ANÁLISIS DE ROSAS DE VIENTO:

En horas de la noche, entre las 18:00 y 00:00 horas, las direcciones predominantes del viento son del SE (28,1%) y S (16,7%), con velocidades fluctuantes en los rangos (0,5 – 1,5 m/s), (1.5 - 3.1 m/s) y (3.1 – 5.1 m/s).

Luego, entre la 01:00 y 07:00 horas, las direcciones predominantes del viento son del O (10,2%), SO (9,1%), SE (9.0%) y S (6,4%) con velocidades fluctuantes en los rangos (0,5 – 1,5 m/s) y (1.5 - 3.1 m/s).

En horas del día, entre las 08:00 y 11:00 horas, las direcciones predominantes del viento son del SO (23,9%), O (18,8%), S (10,2%) y NO (9.9%) con velocidades fluctuantes en los rangos (0,5 – 1,5 m/s), (1.5 - 3.1 m/s) y (3.1 – 5.1 m/s), entre las 12:00 y 15:00 horas las direcciones predominantes del viento son del SO (25,5%), O (16,4%), S (10,2%) y NO (8.6%) con velocidades fluctuantes en los rangos (0,5 – 1,5 m/s), (1.5 - 3.1 m/s) y (3.1 – 5.1 m/s); finalmente entre las 16:00 y 17:00 horas el comportamiento del viento se caracteriza por la multidireccionalidad del viento (direcciones del viento muy variables), no habiendo vientos predominantes, sino la ocurrencia de viento en todas las direcciones, las cuales son: SE (16%), S (15%), SO (13%), O (8.9%), E (8,4%), NO (7,4%) y N (6,7%) entre las de mayor porcentaje; así mismo, la ocurrencia de velocidades de viento se mantuvo en los rangos: (0,5 – 1,5 m/s), (1.5 - 3.1 m/s) y (3.1 – 5.1 m/s). **(Ver anexos)**

4.2 CUANTIFICACIÓN DE LAS CLASES DE ESTABILIDAD ATMOSFÉRICA.

Cuadro N° 9 Resumen por hora de las clases de estabilidad atmosférica - Diciembre 2017 Villa El Salvador / Ovalo Chama (estación meteorológica)

HORAS	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
1																						6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
2																							6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
3																							6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
4																							6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
5																							6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
6																							6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
7																							1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8																							1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9																							1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10																							1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11																							1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
12																							1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
13																							1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14																							1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15																							1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16																						1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17																						1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
18																						1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
19																							6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
20																							6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
21																							6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
22																							6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
23																							6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
24																							4	6	6	6	6	6	6	6	6	6

Cuadro N° 10 Resumen por hora de las clases de estabilidad atmosférica - Enero 2018 Villa El Salvador / Ovalo Chama (estación meteorológica)

HORAS	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
1	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6						6	6	6	6	6	6								
2	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6						6	6	6	6	6	6								
3	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6							6	6	6	6	6								
4	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6							6	6	6	6	6								
5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6							6	6	6	6	6								
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6							6	6	6	6	6								
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1							1	1	1	1	1								
8	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1							1	1	1	1	1								
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1							1	1	1	1	1								
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						1	1	1	1	1	1								
11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						1	1	1	1	1	1								
12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						4	1	1	1	1	1								
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						1	1	1	1	1	1								
14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						1	1	1	1	1	1								
15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						1	1	1	1	1	1								
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						1	1	1	1	1	1								
17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						1	1	1	1	1	1								
18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						1	1	1	1	1	1								
19	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6						6	6	6	6	6	6								
20	6	4	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6						6	6	6	6	6	6								
21	6	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	4						6	6	6	6	6	6								
22	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	4						6	6	6	6	6	4								
23	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	4						6	6	6	6	6	4								
24	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6						6	6	6	6	6	6								

Cuadro N° 11 Resumen por hora de las clases de estabilidad atmosférica - Febrero 2018 Villa El Salvador / Ovalo Chama (estación meteorológica)

HORAS	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
1							6	6	6	6																		
2							6	6	6	6																		
3							4	6	6	6																		
4							6	6	6	6																		
5							6	6	6	6																		
6							6	6	6	6																		
7							1	1	1	1																		
8							1	1	1	1																		
9							1	1	1	1																		
10							1	1	1	1																		
11							1	1	1	1																		
12							1	1	1																			
13							1	1	1																			
14							1	1	1																			
15							1	1	1																			
16							1	1	1																			
17							1	1	1																			
18							1	1	1																			
19							6	6	6																			
20							6	6	6																			
21							6	6	6																			
22							6	6	6																			
23							6	6	6																			
24							4	6	6	4																		

De la figura anterior, entre las 19:01 y 07:00 horas predominan las estabilidades atmosféricas F ó 6 (estable), E ó 5 (ligeramente estable) y D ó 4 (neutro) y. En el día entre las 07:01 y 19:00 horas predomina la estabilidad atmosférica A ó 1 (muy inestable) casi en el total de los casos.

4.3 Estimación de la altura de la capa de mezcla

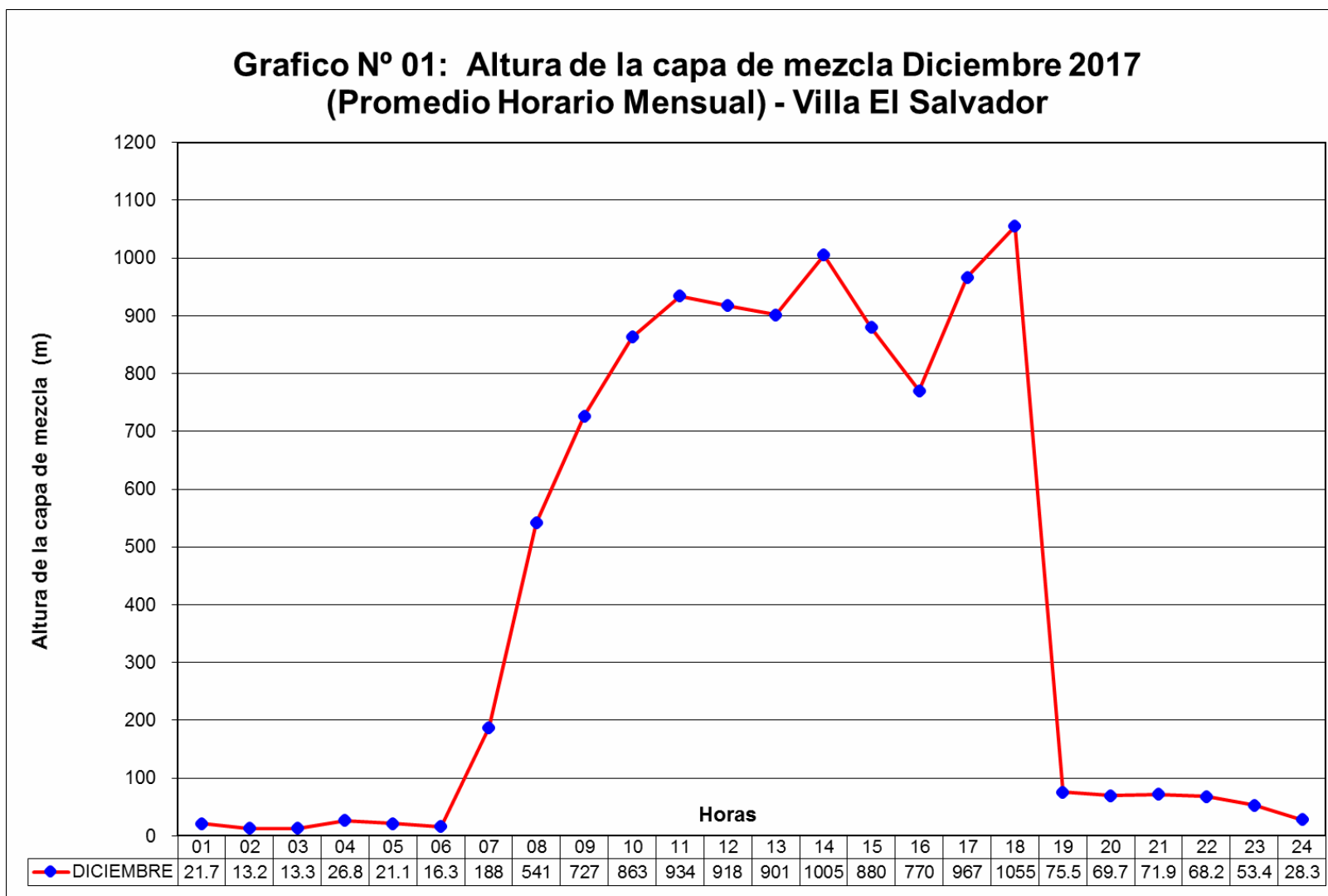


Grafico N° 02: Altura de la capa de mezcla Enero 2018 (Promedio Horario Mensual) - Villa El Salvador

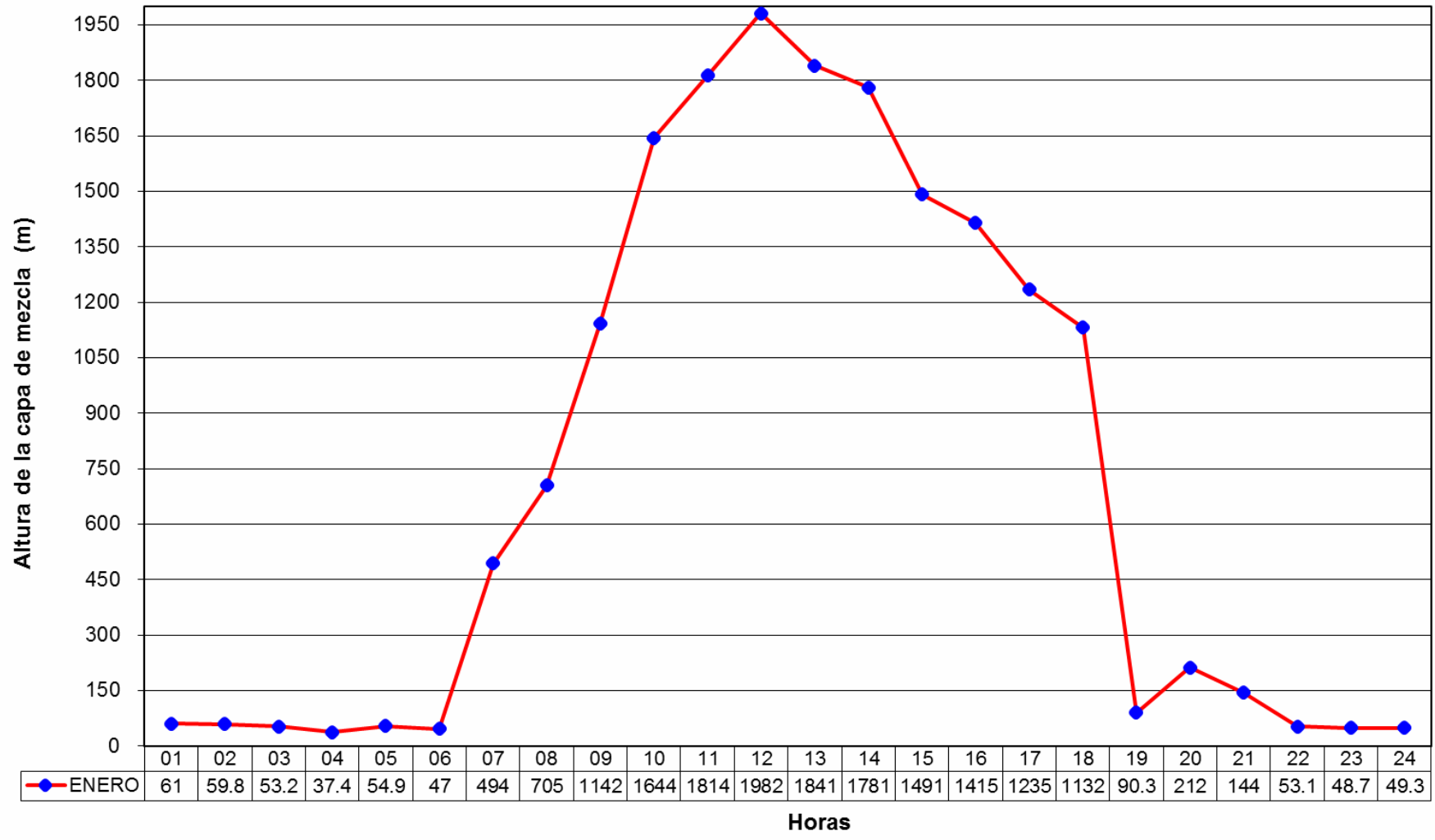
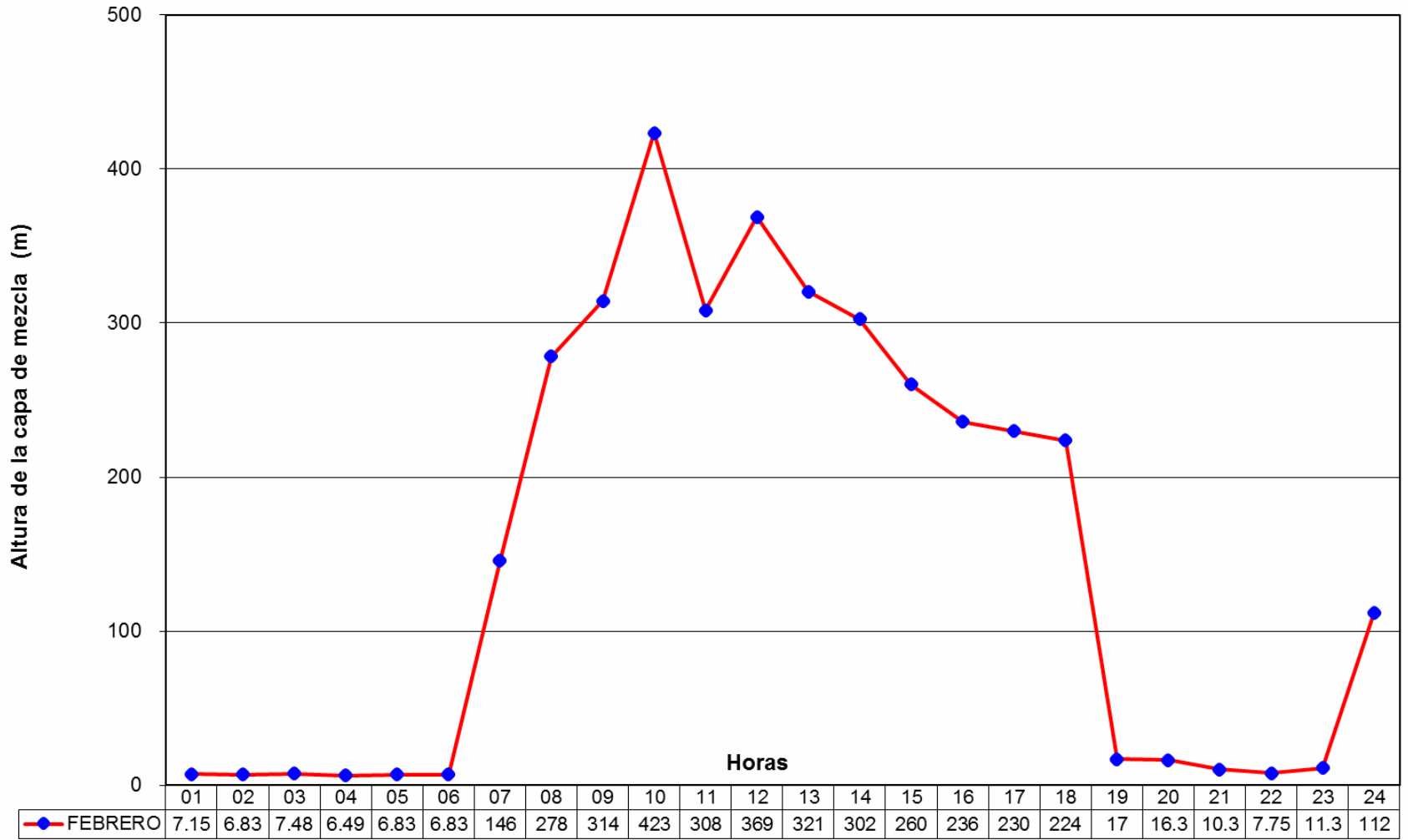


Grafico N° 03: Altura de la capa de mezcla Febrero 2018 (Promedio Horario Mensual) - Villa El Salvador



La variación promedio horaria mensual de la altura de la capa de mezcla en la zona de estudio, según gráficos N° 01, 02 y 03, calculada mediante la metodología de la NSWEPA (NSWEPA, 2001), la cual considera sólo la turbulencia mecánica, denota una variación promedio diaria típica, mostrando alturas promedio de capa de mezcla bajas en horas de la noche (19:00 – 06:00), con magnitudes oscilando debajo de los 100 m; y alturas promedio de capa de mezcla altas en horas del día (07:00 – 19:00), cuyas magnitudes están dentro del rango de 400 m y 2000 m. Esta variación es explicada por la influencia que tiene el cambio energético que experimenta la tierra y la atmósfera adyacente a ella durante el día en la intensidad de la velocidad del viento; los valores de capa de mezcla bajos están directamente relacionados a la ausencia de energía solar en las noches, lo cual ocasiona a nivel local o micrometeorológico disminución en la velocidad del viento (poco movimiento horizontal del aire) y estabilidades atmosféricas neutras o estables (escaso o nulo movimiento vertical del aire); mientras que en el día ocurre lo contrario. Otro factor importante que incide en la altura de la capa de mezcla debido a la turbulencia mecánica es la intensa e irregular topografía (rugosidad del terreno considerada = 0.4 m en la zona de estudio, debido a que en el uso de suelo predomina el uso residencial).

CONCLUSIONES

1. Se encontró que los factores meteorológicos importantes que influyen en la contaminación atmosférica en el distrito de Villa El Salvador durante la estación astronómica de verano son: velocidad y dirección del viento, altura de la capa de mezcla y estabilidad atmosférica.
2. En relación al comportamiento del viento, considerando el total de información meteorológica para la estación astronómica de verano en la zona de estudio, se obtuvo que la dirección del viento predominante a nivel horario mensual es del SE (14,25%), SO (13,5%), S (12%) y O (10,5%); así mismo, en cuanto a las velocidades de viento, las velocidades predominantes están en los rangos 0.54 – 1.54 m/s (viento débil) con aproximadamente 45,3% y 1,54 – 3.09 m/s (viento moderado), y la ocurrencia de calmas (25,8%). Lo cual ocasionaría un transporte débil de los contaminantes atmosféricos hacia las direcciones antes descritas; es decir, hacia los distritos de San Juan de Miraflores y Villa María del Triunfo.

En cuanto al nivel horario diario mensual, durante la estación astronómica de verano en la zona de estudio, se aprecia que durante las horas de la noche hay dos regímenes definidos en cuanto a la dirección del viento; 18:00 – 00:00 y 01:00 – 07:00; pero ambas tienen una tendencia general hacia la zona sur del distrito y con velocidades débiles a moderadas (44,1% y 24,4% respectivamente) y ocurrencia de calmas (27,4%), lo cual ocasionaría un transporte horizontal casi nulo hacia los distritos de San Juan de Miraflores y Villa María de Triunfo.

En horas del día, se determinó tres regímenes de comportamiento del viento. Durante los dos primeros (08:00 - 11:00) y (12:00 - 15:00), se transportarían los contaminantes de la zona de estudio hacia los distritos de San Juan de Miraflores y Villa María del triunfo con mayor intensidad, porque en promedio la ocurrencia de velocidades del viento son un poco mayores en la categoría débiles y moderados (44 y 43% respectivamente) y hay escasa ocurrencia de calmas (6,8%). En el último régimen de comportamiento del viento (16:00 - 17:00) la alta variabilidad de las direcciones del viento y la escasa ocurrencia de calmas (8,3%) indican la ocurrencia de gran turbulencia atmosférica, lo cual favorece la dispersión y transporte de los contaminantes desde la zona de estudios hacia todas las direcciones.

3. La estabilidad atmosférica a nivel horario diario mensual predominante en horas de la noche es la F (muy estable) con un 50% de transporte vertical de los contaminantes se considera nulo; lo cual potencialmente favorecería episodios de contaminación en la zona de estudio.

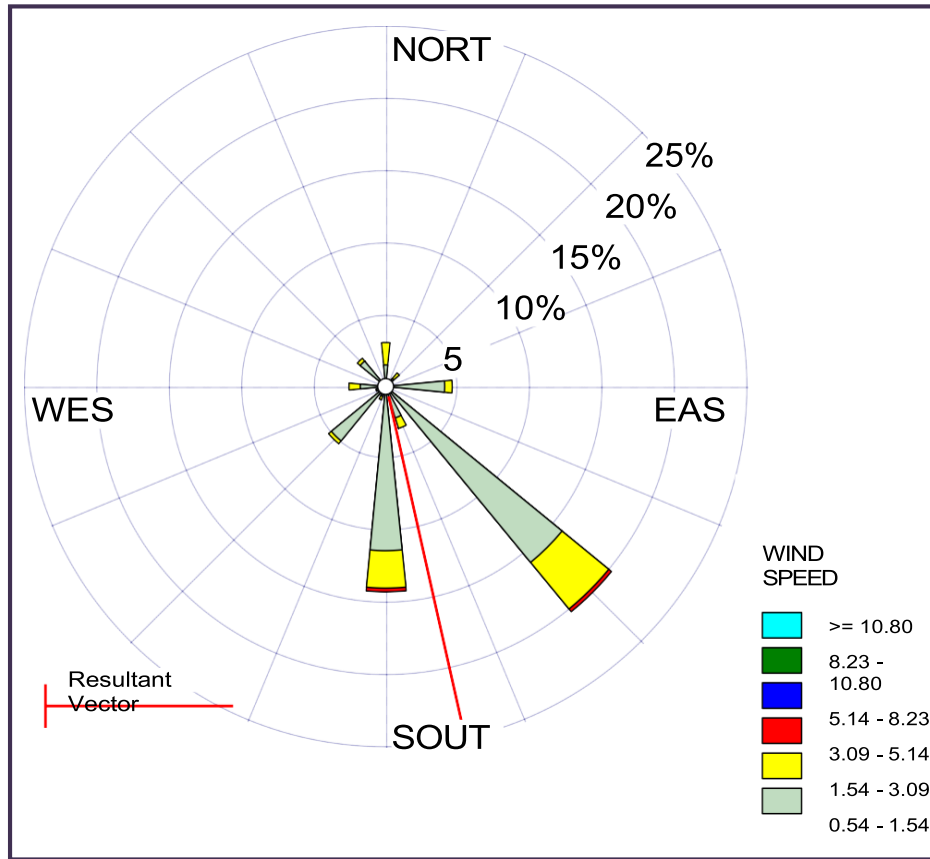
En cambio en horas del día, casi en la totalidad de los casos ocurre estabilidad atmosférica tipo A=1, la cual es un grado extremo de inestabilidad atmosférica y turbulencia del aire, favoreciendo el transporte y dispersión de contaminantes del aire.

4. El promedio horario anual de la altura de capa de mezcla tiene valores altos en horas diurnas (07:00 – 19:00), es de 400 a 2000 m. En horas nocturnas (20:00 – 06:00) presenta valores bajos, con un valor mínimo, cercanos al suelo (valores menores a 100 m). Esto ocasionaría una buena mezcla de los contaminantes del aire durante el día (gran volumen de aire para la mezcla de contaminantes) y todo lo contrario durante las horas de la noche

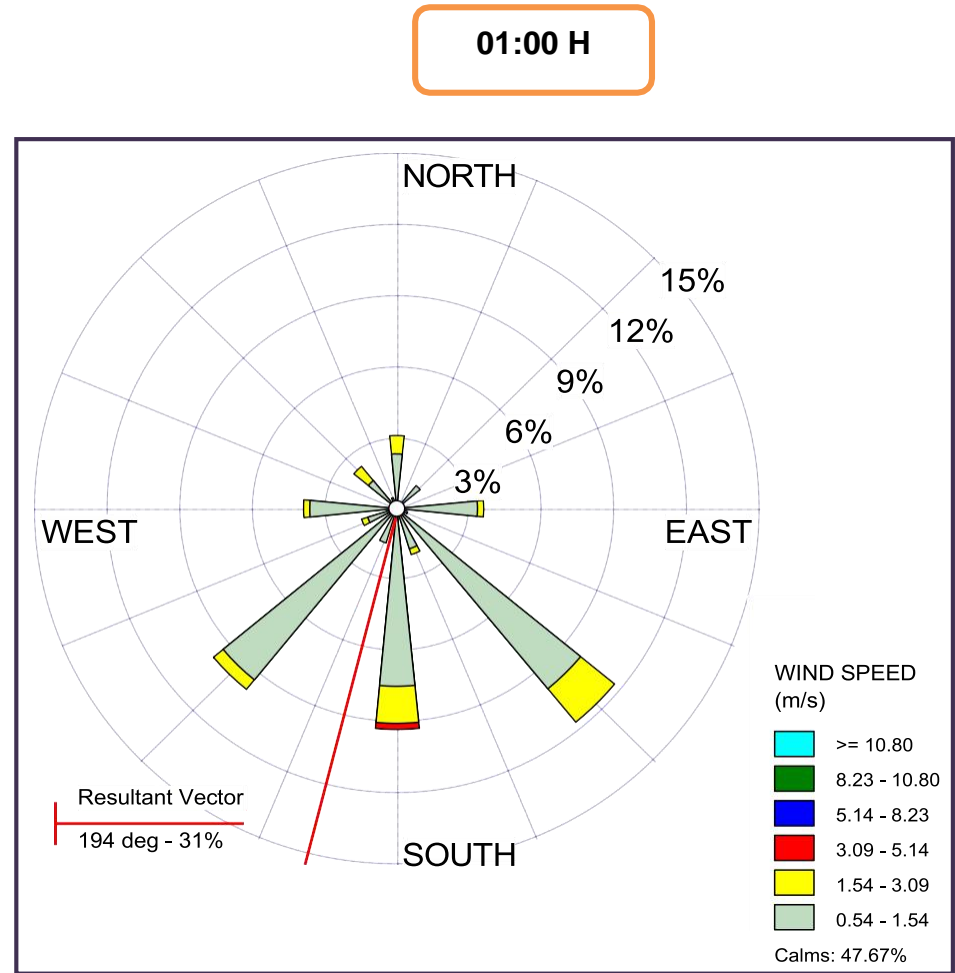
RECOMENDACIONES

1. Instalar equipos apropiados para medir directamente e instantáneamente la altura de la capa de mezcla y el gradiente térmico vertical (estabilidad atmosférica) para evitar errores con la estimación a través de métodos indirectos
2. Es necesario contar con recursos de equipamiento, financieros y logísticos para realizar los trabajos de campo en un mayor tiempo; y vincular la explicación de las causas del comportamiento de los factores meteorológicos y su incidencia en la contaminación atmosférica.
3. Las autoridades competentes deberían propiciar investigaciones en meteorología de la calidad del aire para contar con instrumentos de gestión ambiental objetivos para la gestión ambiental de la calidad del aire.
4. Para fines de realizar una mejor evaluación de las condiciones meteorológicas, se debería instalar más estaciones meteorológicas y de calidad del aire en el distrito de Villa El Salvador, con el fin de obtener una mayor cantidad de datos para la evaluación meteorológica.

ANEXOS: Rosas de viento a nivel horario

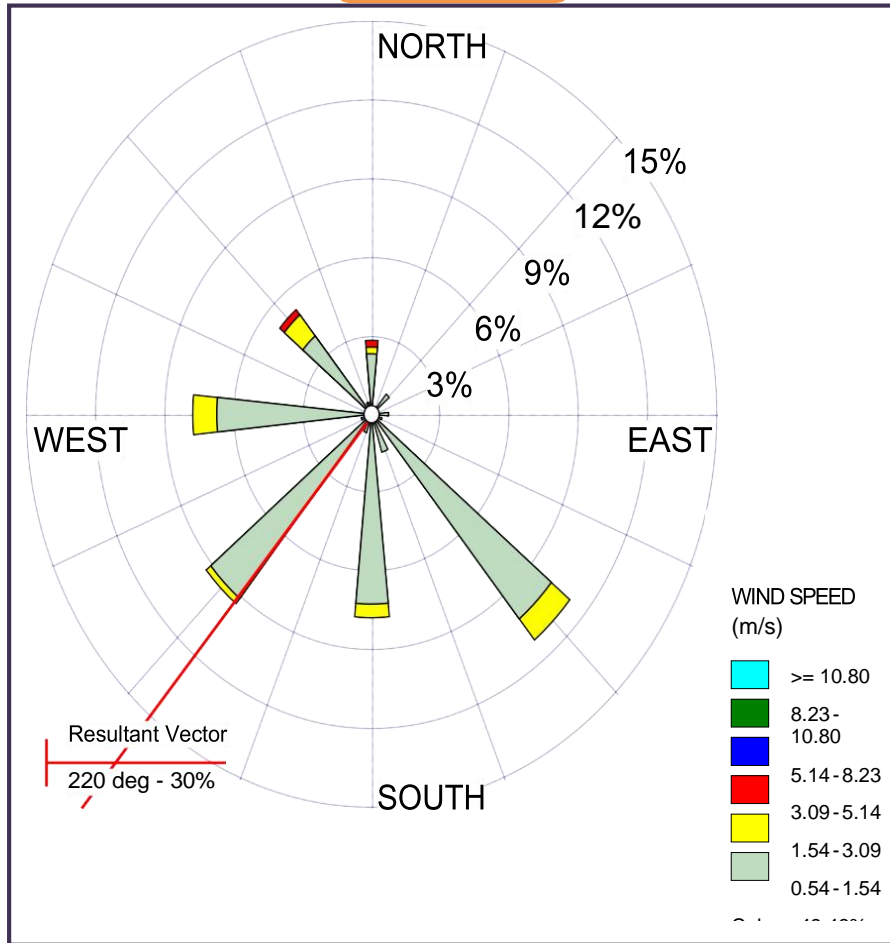


00:00

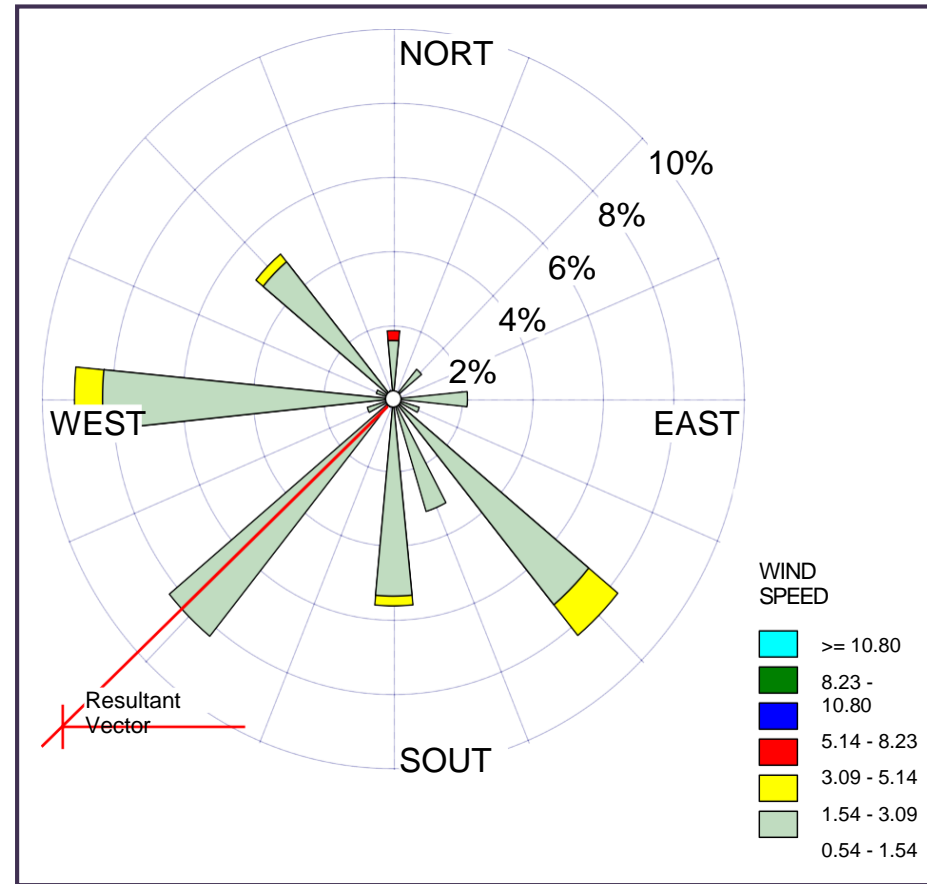


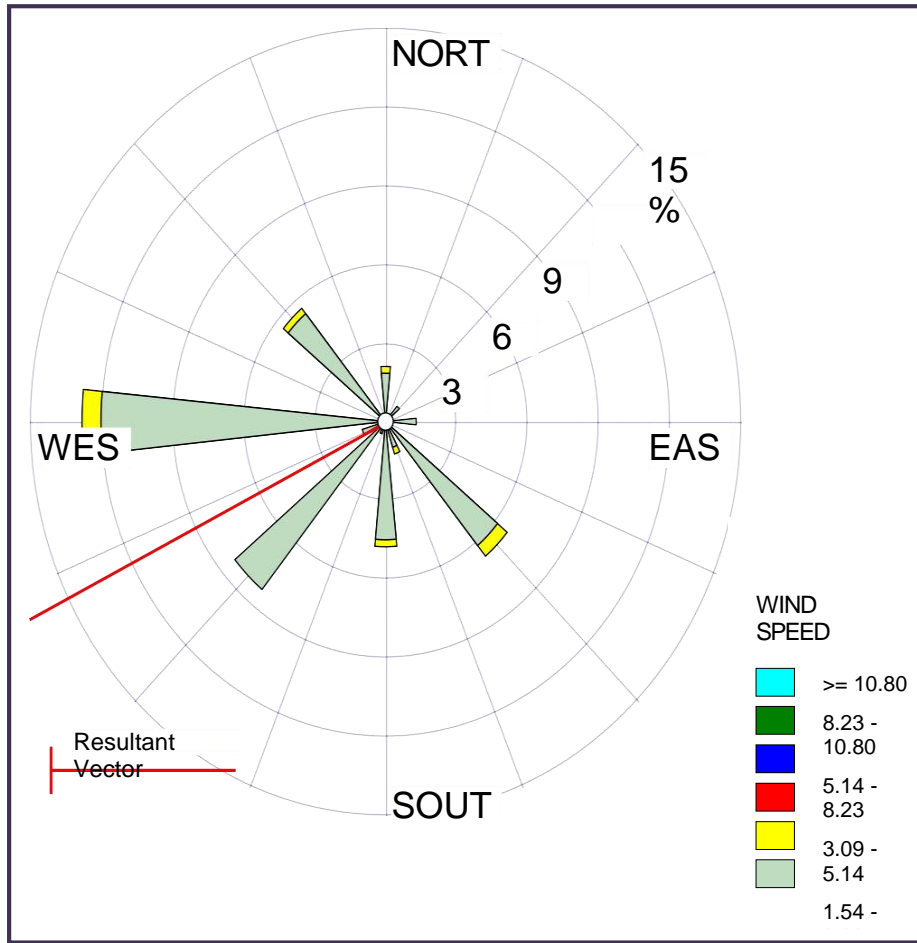
01:00 H

02:00 H



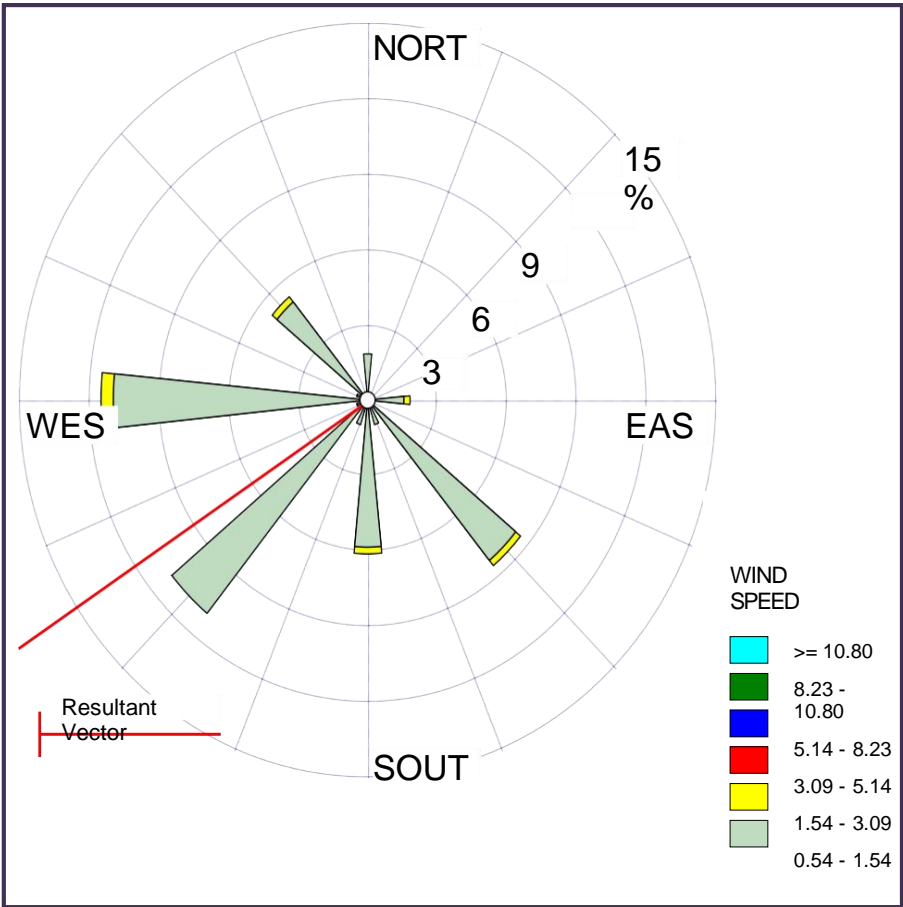
03:00

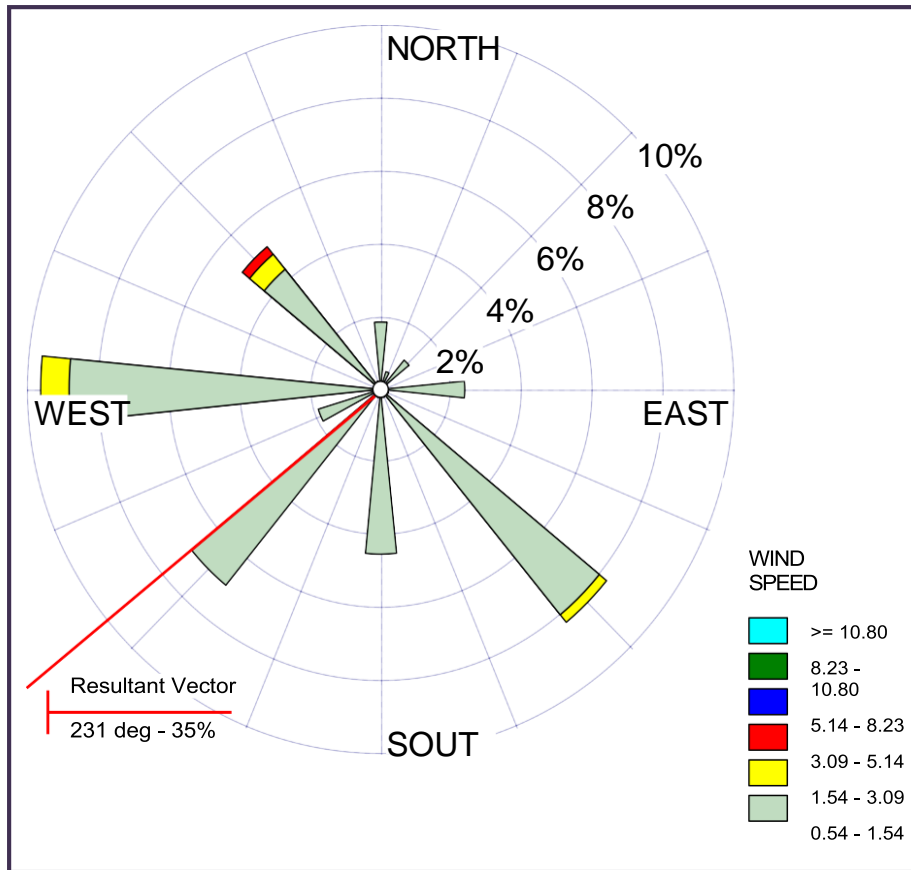




04:00 H

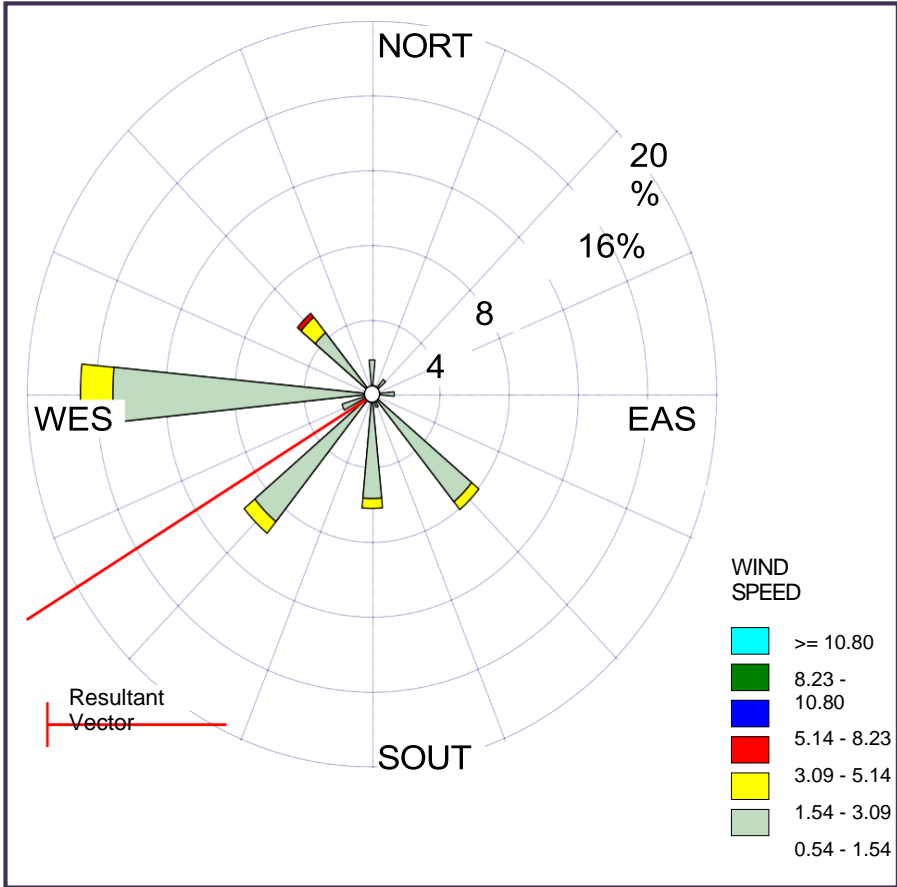
05:00 H



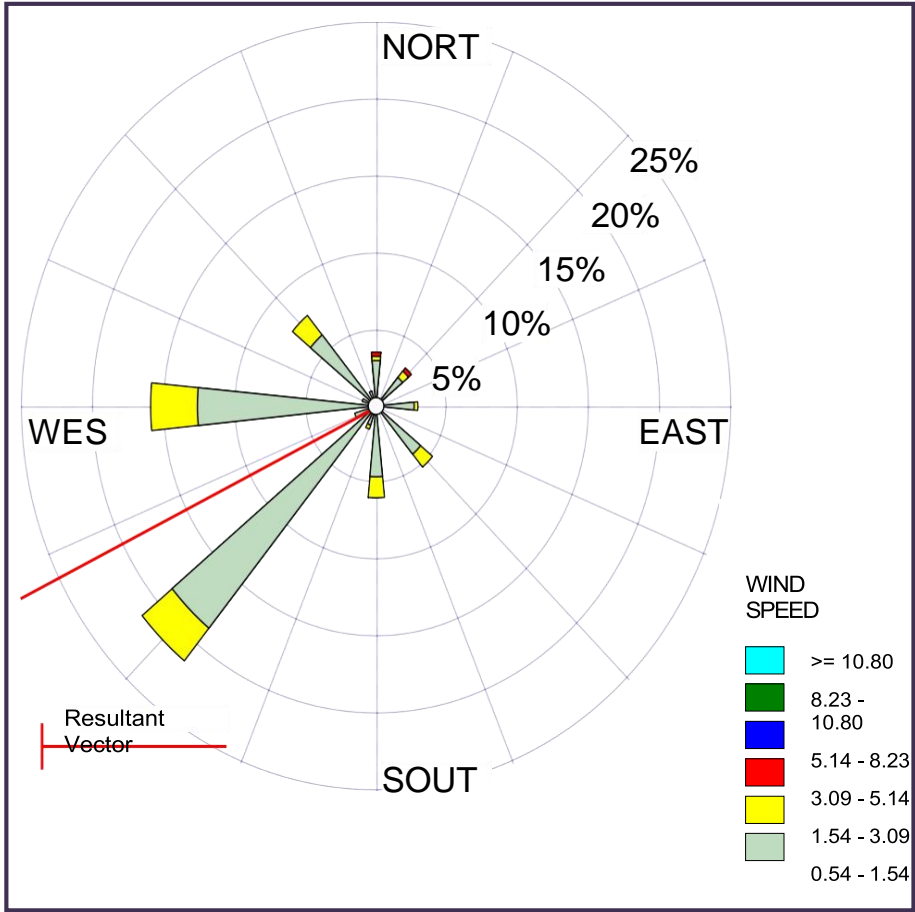


06:00 H

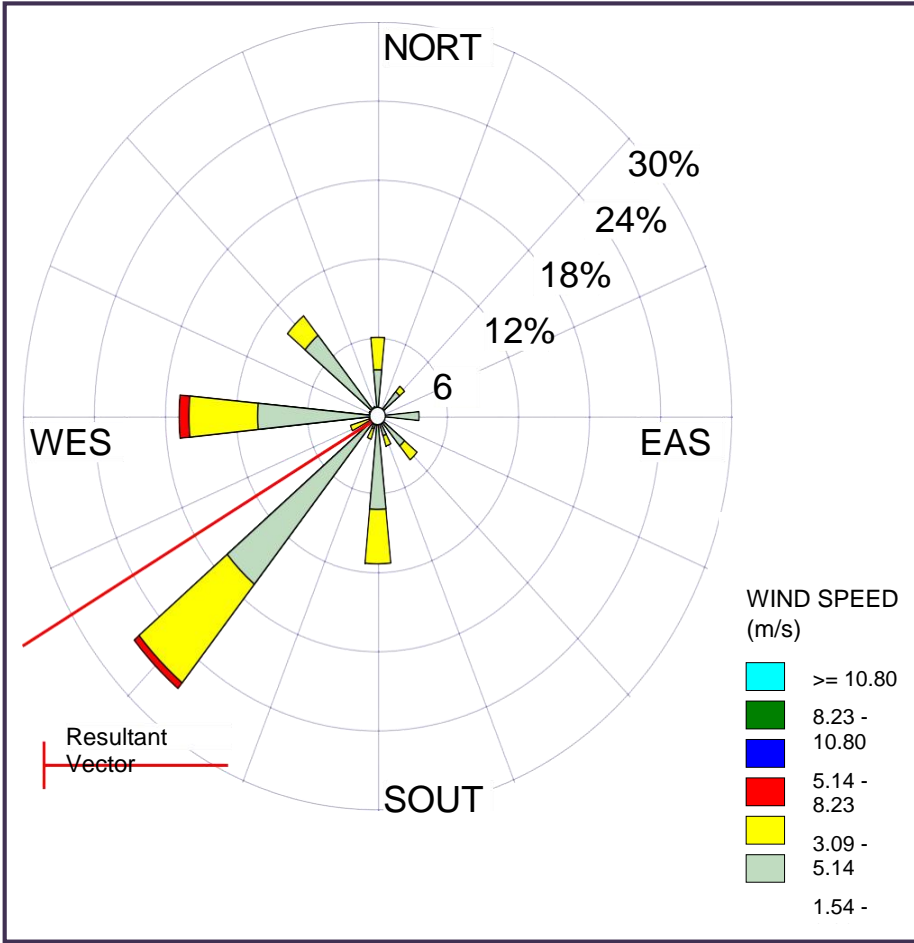
07:00 H

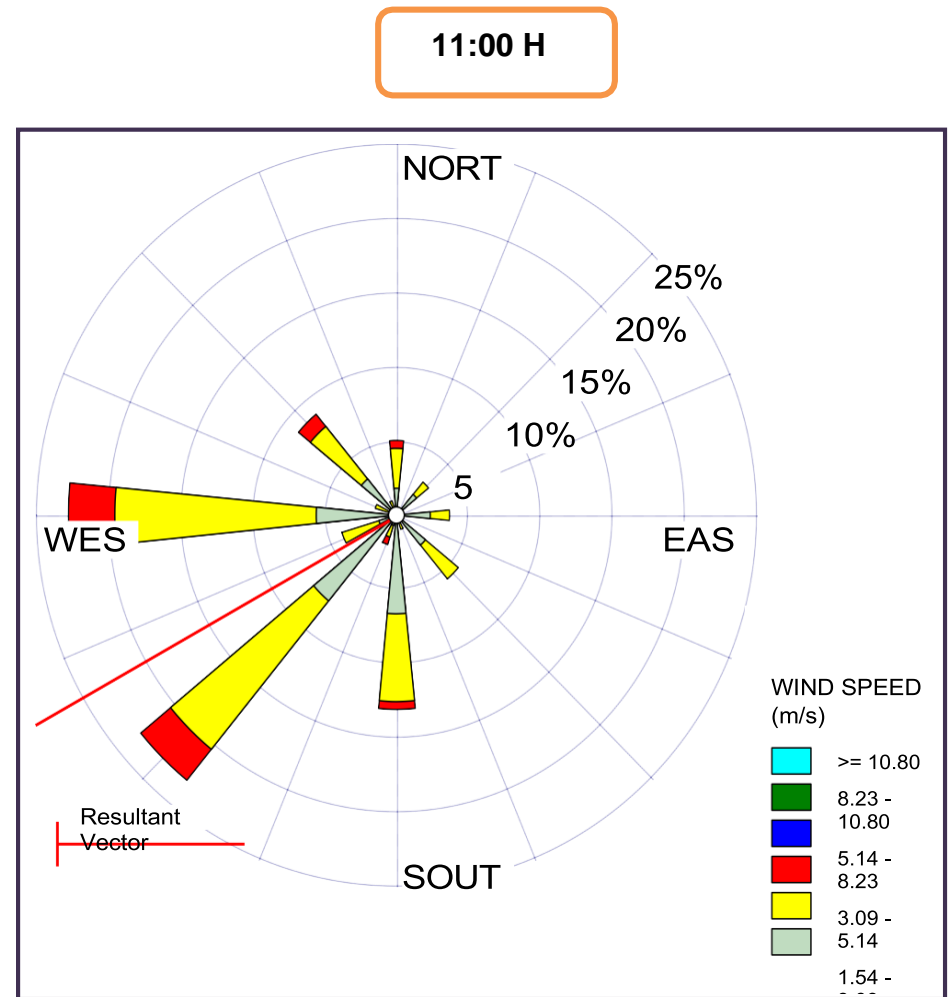
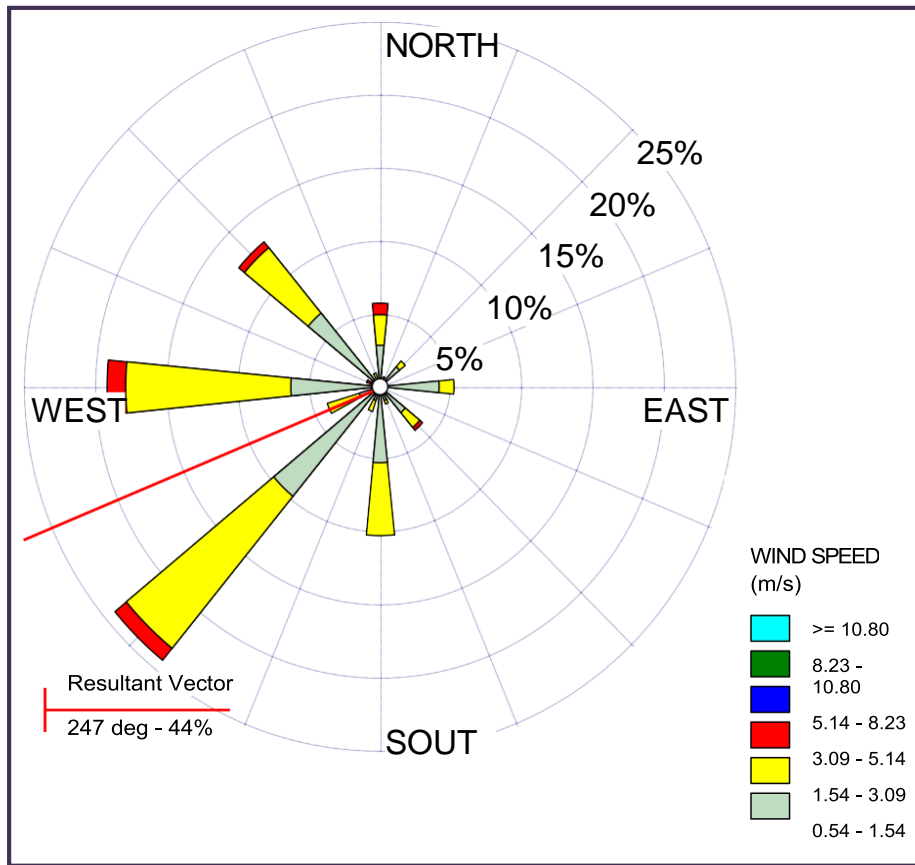


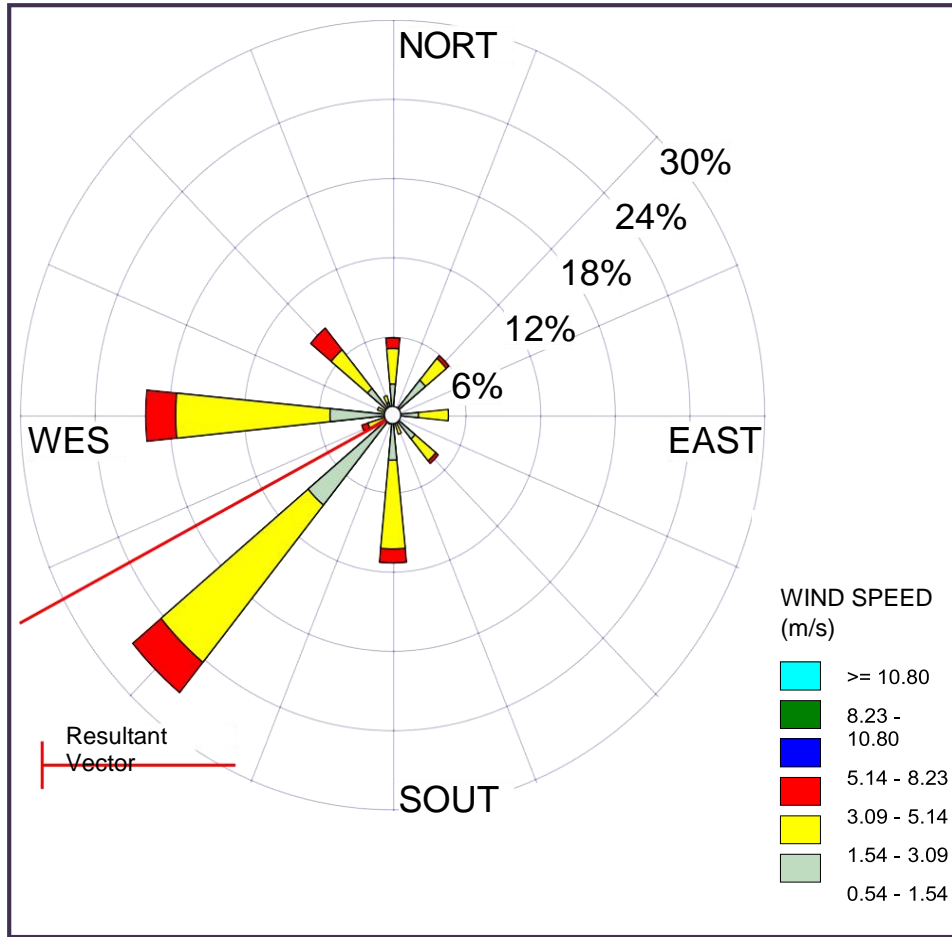
09:00 H



08:00 H

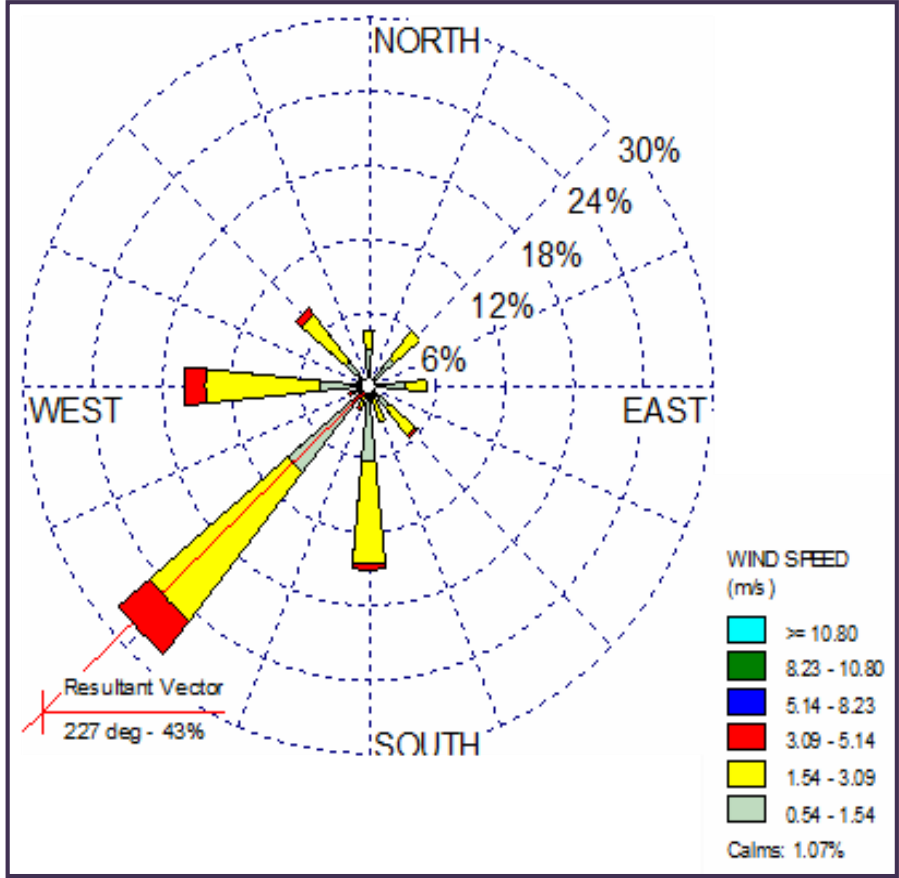




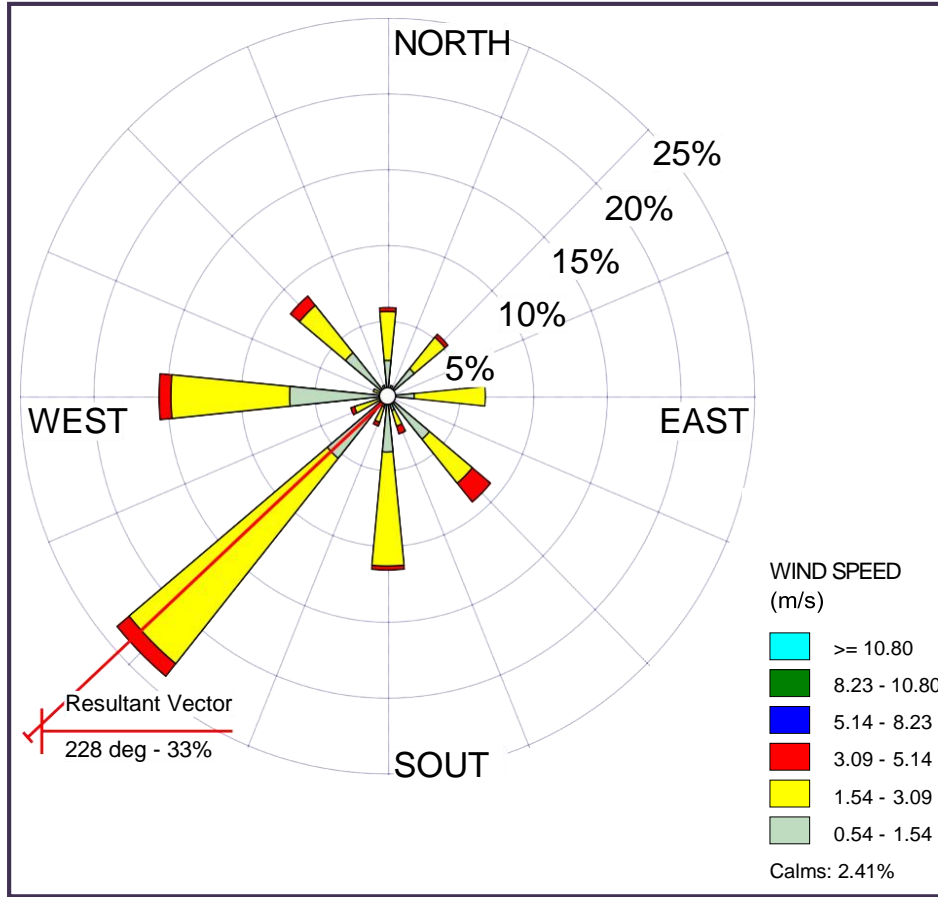


12:00

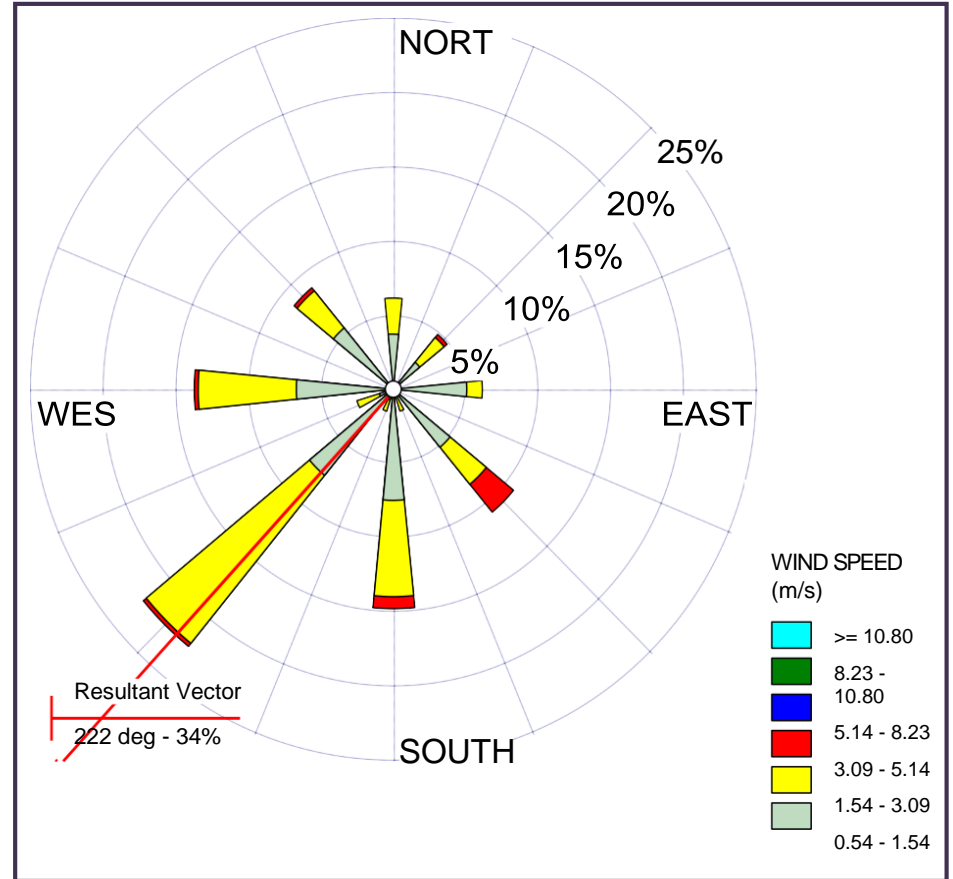
13:00 H

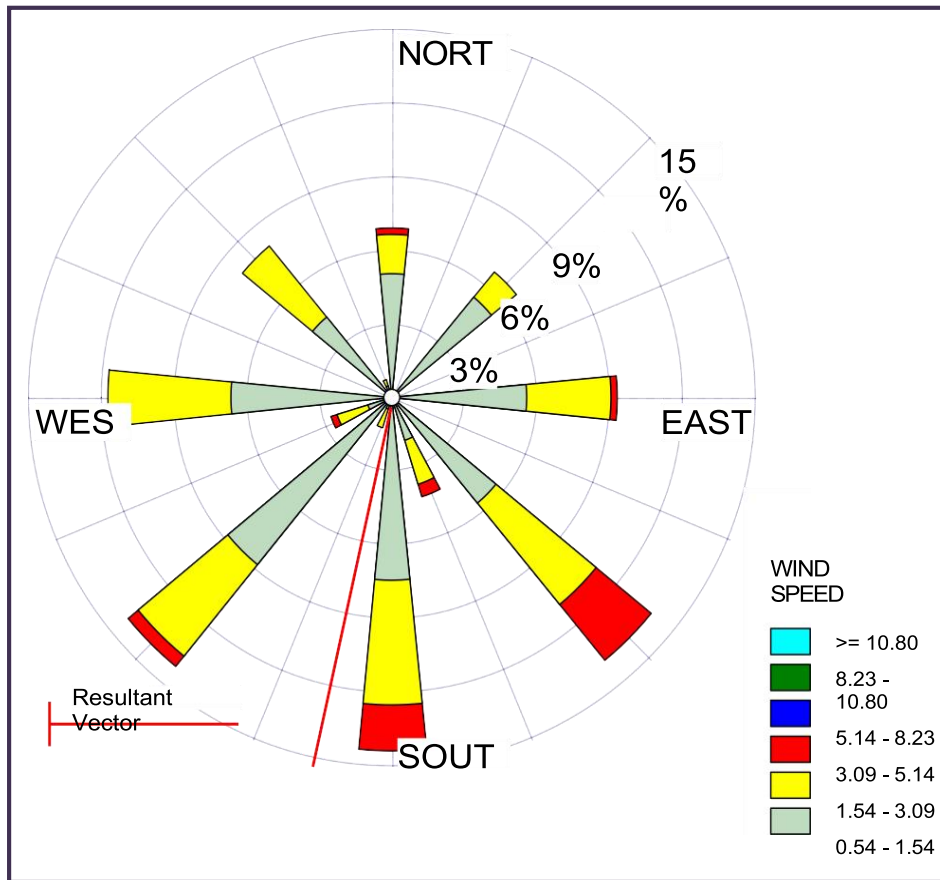


15:00 H

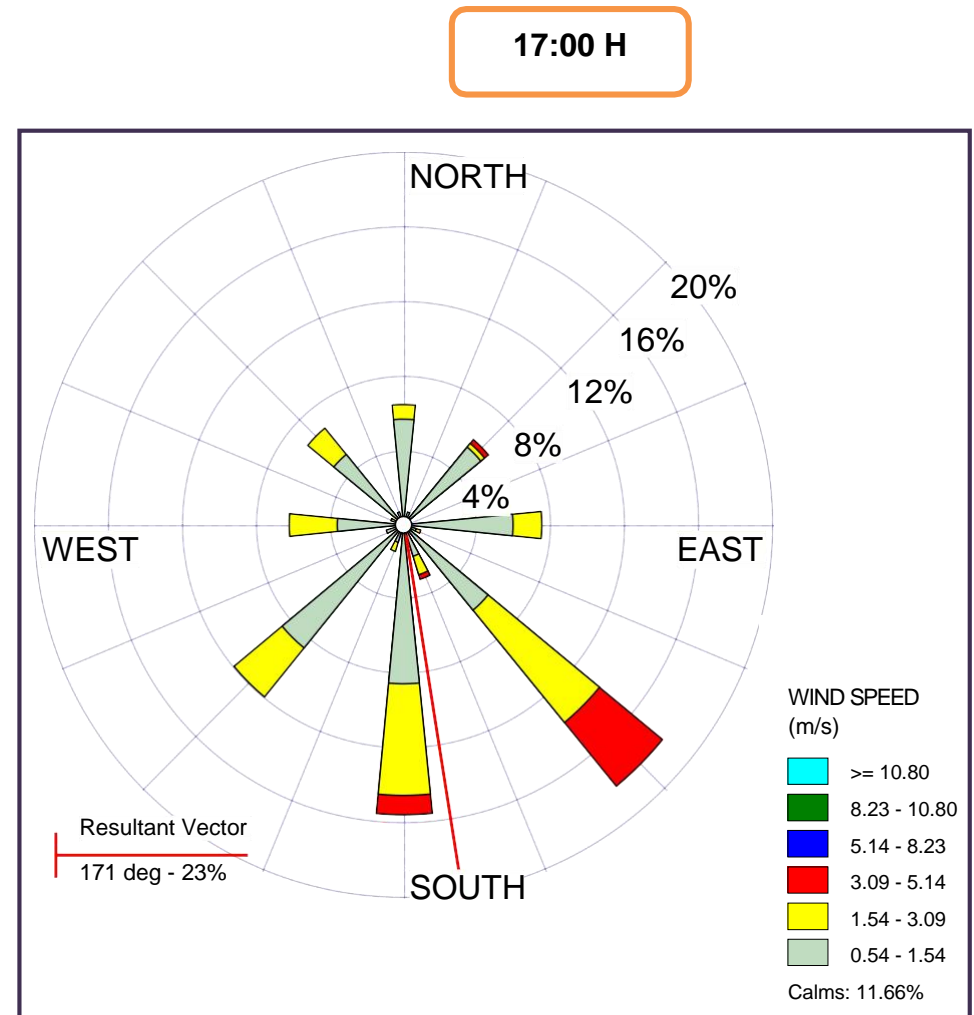


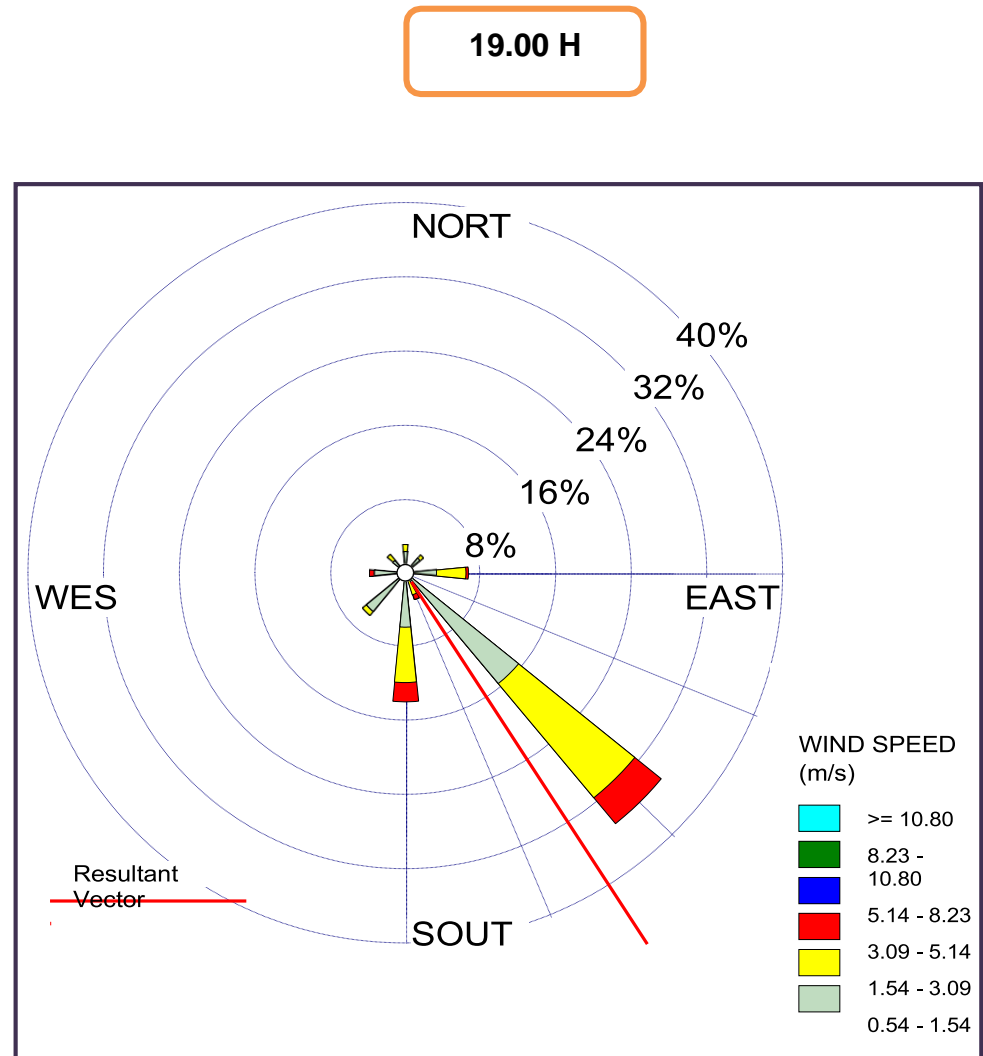
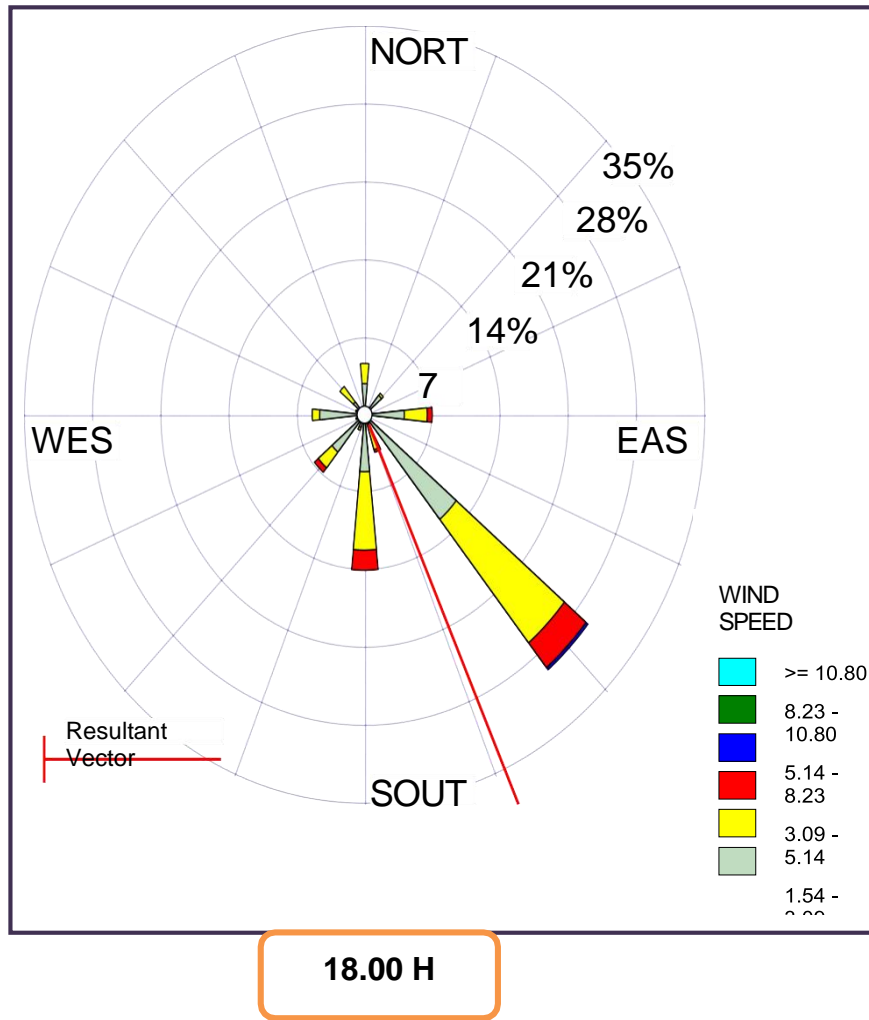
14:00 H



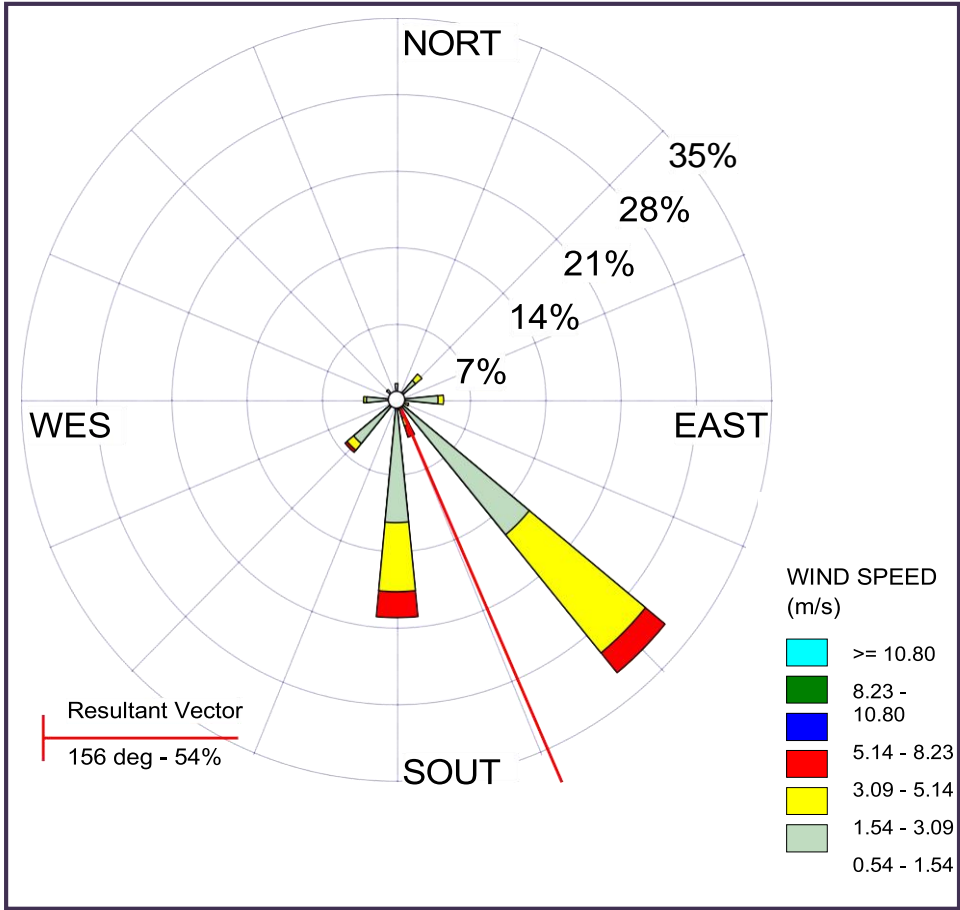


16:00

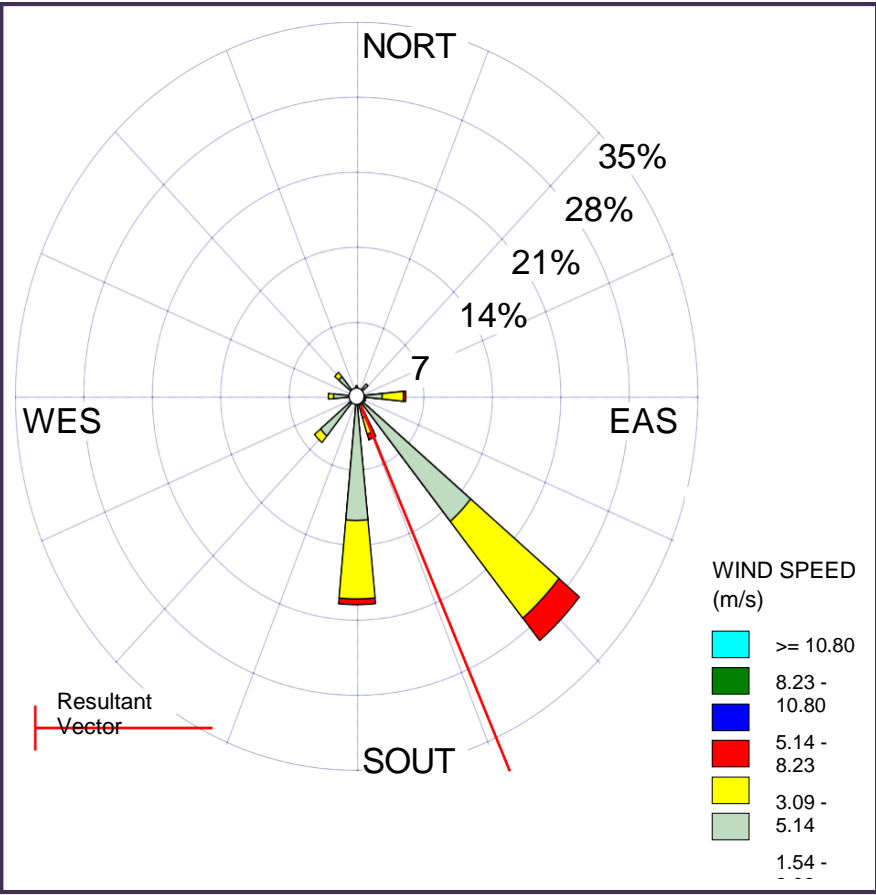


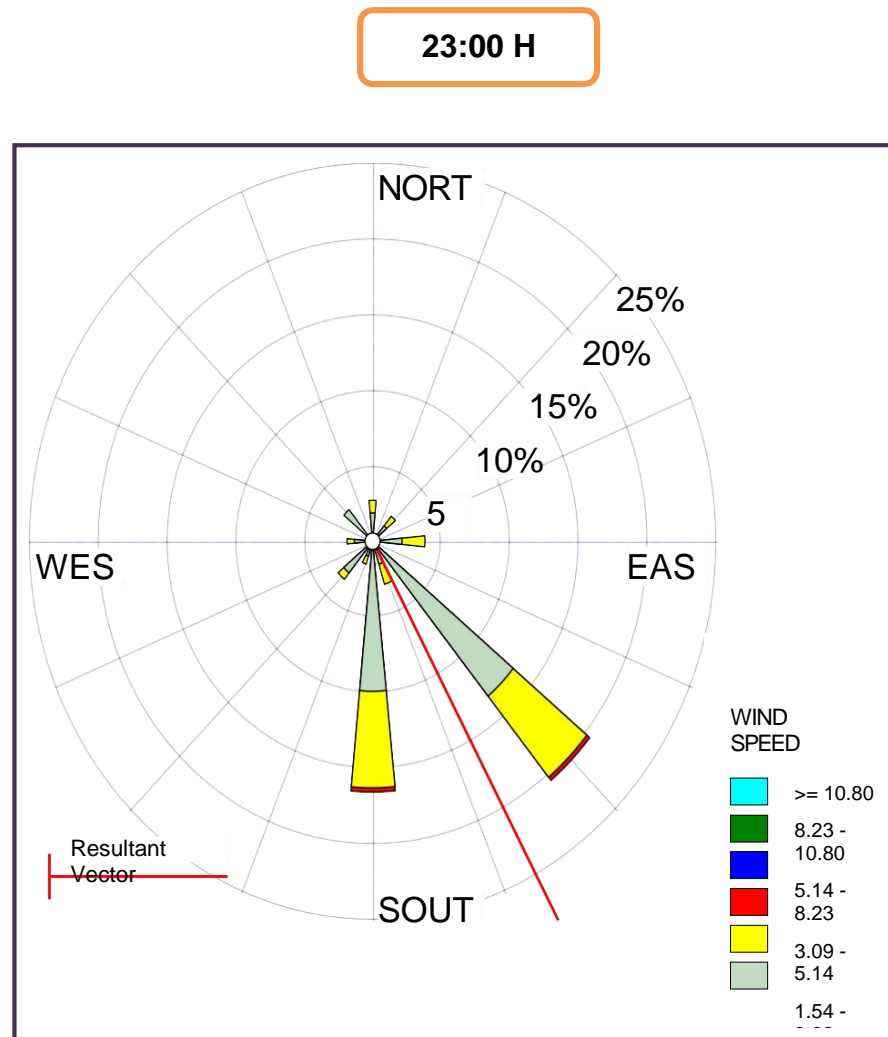
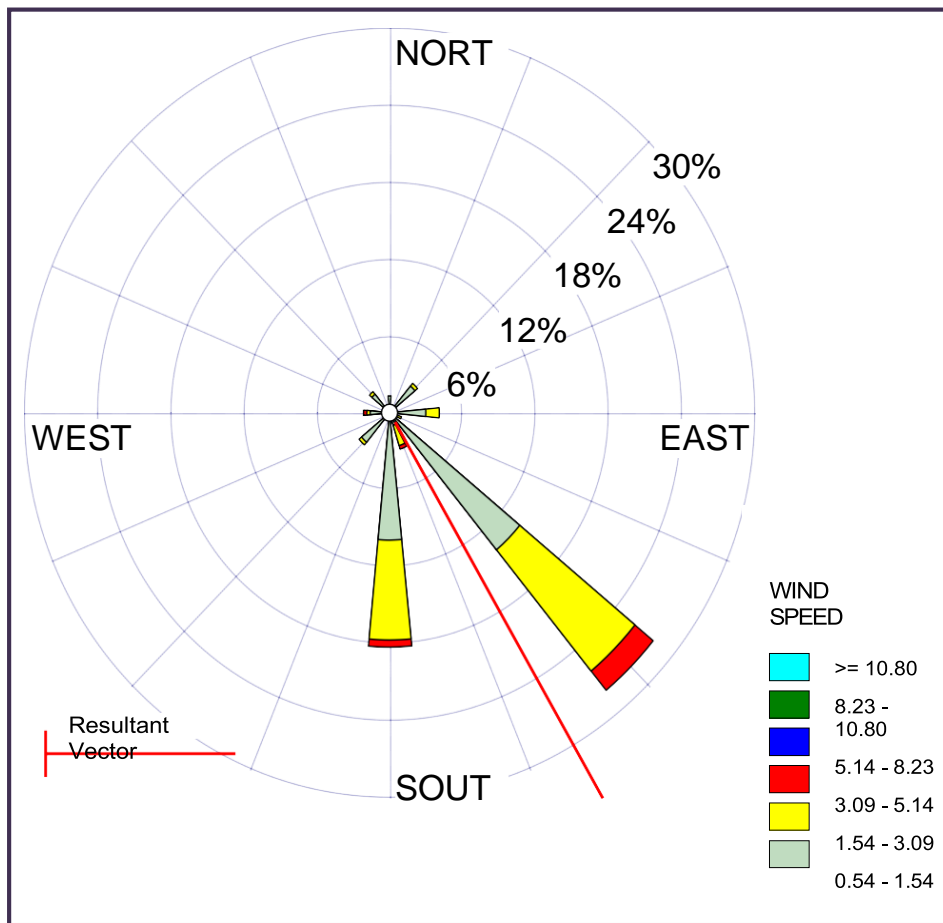


21:00 H



20:00 H





REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CORTÉS ARAÚJO, J. (2013). AIR POLLUTION EVALUATION IN AMBIENT AIR OF MANIZALES BY POPs AND PM10. Ingeniería ambiental. Universidad nacional de Colombia.
2. Carrera Luque, j. and Loyola Echevarría, e. (2010). Impacto Ambiental Generado por la Quema de la Caña de Azúcar en Laredo – Trujillo. Ingeniero geógrafo. Universidad nacional mayor de san marcos.
3. WARK, K. y WARNER, C. Contaminación del aire, origen y control. Editorial Limusa S.A. México. 200 p. 2012.
4. SILVA & MONTOYA (2005) (2006). Análisis de la relación entre el comportamiento estacional de los contaminantes sólidos sedimentables con las condiciones meteorológicas predominantes en la zona metropolitana de lima-callao durante el año 2004. Lima: SENAMHI
5. NEVERS, N. Ingeniería del control de la contaminación del aire. Editorial Mc Graw Hill. México. 546 p. 2008.
6. NSW EPA. 2001. Approved Methods and Guidance For the Modelling and Assessment of Air Pollutants in New South Wales. Australia. EPA 2001/57. ISBN 0 7313 2782 9. USA. 50 p.
7. SÁNCHEZ-CCOYLLO, O. R. Y ORDÓÑEZ-AQUINO, C. G. (2016). Evaluación de la calidad del aire en Lima Metropolitana 2015. Lima: SENAMHI.
8. FLORES, W. 2003. Contaminación del aire por partículas menores a 10 micrones en la ciudad de Lima Metropolitana. Tesis para Ingeniero Meteorólogo. Universidad Agraria La Molina. Lima – Perú. 164 p.

9. CAMBRIDGE ENVIRONMENTAL RESEARCH CONSULTANTS. 2000.
Comparison of regulatory design concentrations: ADMS versus AERMOD
and ISCST3. United Kingdom. 16 p.
10. SEOANEZ, M. Tratado de contaminación atmosférica. Mundi-Prensa
libros, S.A. Madrid – España. 1111 p. 2002.