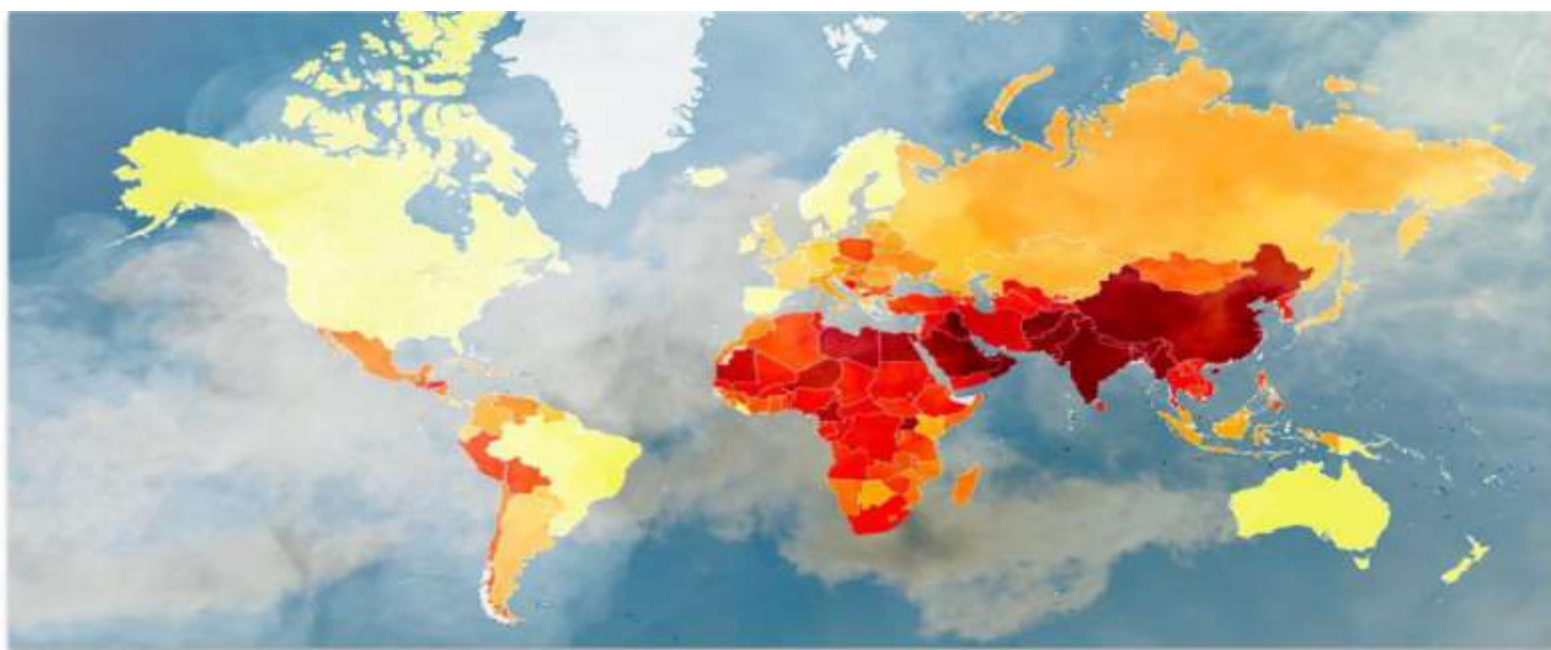


ANÁLISIS DE LA CARGA DE MATERIAL PARTICULADO GENERADO POR LA INDUSTRIA ARROCERA EN EL PUEBLO DE LOS CHARRÚAS

Trabajo Final presentado para la obtención del título de:
Ingeniero Civil



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL

FACULTAD REGIONAL CONCORDIA

CÁTEDRA: PROYECTO FINAL

PROF. TITULAR: Ing. FABIÁN A. AVID

AY. DE TRABAJOS PRÁCTICOS: Ing. LEONARDO VOSCOBOINIK

TUTOR: Ing. JUAN VALLS

ALUMNO: DARIO M. WENDLER

AÑO: 2018

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	4
1.1 Motivación.....	4
1.2 Resumen.....	4
1.3 Memoria Descriptiva	5
1.4 Descripción de la zona de estudio y de las fuentes emisoras	7
2. OBJETIVOS	9
2.1 Objetivo general	9
2.2 Objetivos específicos	9
3. MARCO CONCEPTUAL.....	9
3.1 Contaminación atmosférica.....	9
4. TÉCNICAS BÁSICAS DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES	12
4.1 Muestreos en la fuente	12
4.2 Modelos de Emisión	14
4.3 Encuestas.....	14
4.4 Factores de Emisión.....	15
4.1.1 Factores de Emisión Basados en Procesos:	16
4.1.2 Factores de Emisión Basados en Censos:	16
4.5 Balance de materiales	17
4.6 Extrapolación	18
5. EMISIONES ATMOSFÉRICAS GENERADAS EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE ARROZ EN MOLINOS.....	18
6. RECOPIACIÓN DE DATOS	19
6.1 Datos de Campo	19
6.2 Datos de la EPA.....	19
7. FUENTES DE EMISIÓN DE MATERIAL PARTICULADO.....	19
8. CONCEPTOS NECESARIOS PARA EL CÁLCULO DE EMISIONES Y DE CONCENTRACIONES DE MATERIAL PARTICULADO: ESTABILIDAD ATMOSFÉRICA Y ALTURA DE CAPA DE MEZCLA	20
9. CÁLCULO DE LAS TASAS DE EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO PARA EL PARQUE AUTOMOTOR EXISTENTE.....	25
10. CÁLCULO DE LAS TASAS DE EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO PARA LOS MOLINOS ARROCEROS EXISTENTES.....	36
a. Molino Arrocero A.....	36

b. Molino Arrocero B	38
11. INTRODUCCIÓN AL SOFTWARE ISCST 3: MARCO TEÓRICO, EXPLICACIÓN DE SU ALCANCE, CONFORMADO DEL ARCHIVO DE DATOS METEREOLÓGICOS Y JUSTIFICACIÓN DE LAS OPCIONES DE MODELADO SELECCIONADAS	39
12. TEORÍA DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES: MODELO GAUSSIANO	55
13. CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN DE FONDO O CONCENTRACIÓN BASE GENERADA POR EL PARQUE AUTOMOTOR.....	58
14. CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN DEBIDO A LOS MOLINOS ARROCEROS EXISTENTES.....	67
15. CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN TOTAL.....	73
16. VALORES LÍMITES ESTABLECIDOS EN LA GUÍA DE CALIDAD DEL AIRE DE LA OMS	75
17. CONCLUSIONES.....	76
18. ANEXOS.....	79
19. TABLAS.....	80
20. ECUACIONES.....	81
21. FIGURAS.....	82
22. BIBLIOGRAFÍA	83
23. AGRADECIMIENTOS.....	84

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Motivación

El interés que dio origen al desarrollo de este trabajo fue la determinación de los efectos que genera la producción industrial de arroz en el pueblo de Los Charrúas, localidad en la cual el autor observó la emisión de material particulado durante toda su vida.

La actividad de las empresas procesadoras y exportadoras de arroz que allí se encuentran, libera en su proceso de producción, grandes cantidades de éste contaminante al ambiente, el cual se deposita sobre la vegetación, los pisos de casas, veredas y vehículos, entre otros.

Esto llevo al autor a investigar sobre los efectos que tendrían dichas emisiones en la salud de los habitantes del pueblo.

1.2 Resumen

La problemática ambiental en el mundo, presente con mayor fuerza en estos dos últimos siglos, necesita ser tratada por la tarea del ingeniero especialista en forma exclusiva.

La contaminación atmosférica producida por las diferentes emisiones provenientes de diversas fuentes, es un factor fundamental en el llamado “Calentamiento Global”, efecto éste determinante en el cambio climático global.

Es sabido que dichos efectos (tales como derretimiento glaciario, tormentas eléctricas, incendios, etc.) producen grandes pérdidas naturales y económicas. Por estos motivos, es fundamental que se comiencen a controlar de forma más frecuente todo tipo de emisiones contaminantes, tarea que debe ser lo más precisa posible y con el menor costo, he aquí la importancia del ingeniero en el tema.

Un tipo de contaminante, que actualmente se está emitiendo en forma masiva a la atmósfera por parte de industrias y vehículos, es el material particulado, abreviado PM por sus siglas en ingles.

El crecimiento de este tipo de emisión ha sido de manera exponencial en estos últimos siglos, según entidades como la Organización Mundial de la Salud (OMS). La misma, ha establecido los tamaños de partícula que son respirables y por ende,

perjudiciales para el ser humano, los cuales son: PM10 y PM2,5, de 10 y 2,5 micrones de tamaño respectivamente.

En Argentina, la legislación vinculada al tema no tiene un grado de avance alto como en países de la Unión Europea o Estados Unidos. Esto perjudica notablemente a nuestro país, dado que no se puede establecer, en forma real, cuando cierta concentración de contaminantes es perjudicial o no al ser humano.

La Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) ha desarrollado diversos métodos matemáticos para la estimación de dicha concentración, lo cual siempre es menos confiable que los datos arrojados por el uso de artefactos de medición, pero lo suficientemente bueno como para tomar decisiones respecto al problema, siempre y cuando la calidad de datos que se usen en el modelado sea aceptable, al igual que el criterio de selección de escenarios de modelación.

En fin, la tarea del ingeniero es valerse de las herramientas matemáticas y datos (de medición en el mejor de los casos, o bien modelados) para estimar la concentración debida a cierta actividad y tomar, con el mejor criterio posible, una decisión respecto al problema. Esto debe hacerse teniendo en cuenta el impacto (económico, social, cultural y natural) de la misma en la zona estudiada.

Luego, el profesional debe proponer, si así hiciera falta, posibles soluciones al problema, para luego elegir cuál es la técnica y económicamente más factible.

1.3 Memoria Descriptiva

En el presente trabajo, se expone la problemática ambiental que trae consigo la industria arrocera, haciendo uso de un caso particular.

La misma, refiere a la concentración de material particulado en la atmósfera debido a la actividad de los molinos arroceros, la cual consta de diferentes etapas, dándose en cada una de ellas diferentes grados de contaminación.

La concentración de material particulado (PM10 y PM2,5) en la atmósfera es nociva para la salud humana.

Las preguntas a responder son, entonces:

- a. ¿Cuál es el valor de la concentración de PM para un determinado punto?
- b. ¿Cómo es la distribución espacial de la concentración de PM?

c. Teniendo en cuenta la concentración de fondo o de base existente, ¿cuál es la incidencia de la industria molinera en la concentración total de PM?

La primer pregunta se responde haciendo uso de un Software desarrollado por la EPA, el ISCST3 (Industrial Source Complex – Short Term), el cual se basa en la distribución gaussiana que adoptan las plumas de contaminantes emitidas a la atmósfera. Para ello, será necesario indicar al programa la opción necesaria para calcular concentraciones puntuales.

La segunda pregunta se responde haciendo uso del mismo software, seleccionando las opciones correspondientes que permiten modelar distribución espacial.

Para responder a la tercer pregunta hará falta calcular la concentración de fondo, o sea la concentración existente, o punto de partida para la cuantificación de la concentración buscada, que está compuesta en su mayor parte por la actividad del parque automotor que reside en la zona sumado al tráfico de vehículos no residenciales que circulan por la zona en forma temporal. Esta última porción de vehículos no se considera en los cálculos por ser de difícil y costoso relevamiento, solo se usará la primera porción por ser fácil obtener la cantidad de vehículos que componen el parque automotor y la discriminación por tipos. Sabiendo esta concentración de fondo, y sabiendo la concentración debida a los molinos, se puede determinar la incidencia que cada grupo contaminante tiene en la totalidad.

Para la ejecución del software mencionado, hacen falta mediciones de variables meteorológicas horarias durante la cantidad de años que se desea obtener datos modelados de concentración en un punto, como por ejemplo, velocidad y dirección del viento, temperatura, estabilidad atmosférica, altura de capa de mezcla, radiación solar, etc. Estos datos, se obtienen a través de una estación meteorológica lo más cercana posible a la fuente de estudio, siendo necesaria una mayor cantidad de estos cuanto más lejos se encuentre el punto de medición respecto a la fuente modelada. De esta manera se reduce el error debido a las variables meteorológicas. Además, se precisa la tasa de emisión de contaminantes de las fuentes en estudio, lo cual, para la fuente de emisiones “Parque Automotor”, se obtiene de las Normas Europeas de Calidad del Aire y, para la fuente “Molinos Arroceros”, las tasas de emisiones dependerá de la capacidad de producción de los molinos arroceros en forma anual y de la eficiencia de una unidad de arroz crudo (arroz paddy), y se calculará en base a los porcentajes de incidencia de

cada etapa de producción y a los factores de emisión dados por la EPA (Environmental Protection Agency) de los EEUU para cada etapa.

En base a lo antes expuesto, se considera suficiente tomar, como tiempo de análisis, un período de 1 año, partiendo desde el 1 de Enero de 2015 hasta el 31 de diciembre de 2015. Se seleccionó este período por ser el único registrado por la estación meteorológica de la Dirección de Hidráulica de Entre Ríos en la zona de estudio.

El autor del trabajo, ha tomado como caso particular, la contaminación producida por los molinos arroceros “A” y “B” en el pueblo de Los Charrúas, Departamento Concordia, Provincia de Entre Ríos.

Se evaluará la concentración de contaminantes de material particulado en diferentes puntos de interés de la planta urbana del pueblo.

1.4 Descripción de la zona de estudio y de las fuentes emisoras

El pueblo de Los Charrúas está ubicado a $58^{\circ}11'6''$ de Longitud Oeste y a $31^{\circ}10'30''$ de Latitud Sur. Cuenta con una población aproximada de 4000 habitantes, los cuales basan su sustento de vida en las actividades agrícolas y administrativas. Orográficamente, la zona es mayormente llana, presentando leves ondulaciones.

El clima es típico del litoral del país: temperatura promedio anual entre $17 - 22^{\circ}\text{C}$ y con valores de precipitación media anual entre 800 - 1200 mm.



Fig. 1 - Imagen satelital del la planta urbana de Los Charrúas

Los molinos arroceros considerados, se encuentran en el perímetro del pueblo y en el interior del mismo.



Fig. 2 - Imagen satelital del Molino A



Fig. 3 - Imagen satelital del Molino B

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

- Determinar la concentración de material particulado que genera el sector de la molinería de arroz en el área urbana del pueblo de Los Charrúas.

2.2 Objetivos específicos

- Analizar el sector de la molinería de arroz del área urbana de Los Charrúas.
- Establecer las técnicas o métodos utilizados para efectuar la estimación de las emisiones, así como también para el cálculo de las concentraciones.
- Verificar el cumplimiento del límite de emisión permisible para material particulado establecido en la normativa ambiental vigente.

3. MARCO CONCEPTUAL

3.1 Contaminación atmosférica

La contaminación atmosférica se puede definir como la presencia de uno o más contaminantes o sus combinaciones, en cantidades tales y con tal duración que sean o puedan afectar la vida humana, de animales, de plantas, o de la propiedad y que interfiere en el goce de la vida, la propiedad o el ejercicio de las actividades.

Los contaminantes los podemos clasificar como primarios o secundarios. Un contaminante primario es aquél que se emite a la atmósfera directamente de la fuente y mantiene la misma forma química, como por ejemplo, la ceniza de la quema de residuos sólidos; un contaminante secundario es aquel que experimenta un cambio químico cuando llega a la atmósfera, como por ejemplo el ozono que surge de los vapores orgánicos y óxidos de nitrógeno que emiten una estación de gasolina o el escape de los automóviles.

Los contaminantes del aire también se han clasificado como contaminantes *criterio* y contaminantes *no criterio*. Los contaminantes *criterio* se han clasificado como comunes y perjudiciales para la salud y el bienestar de los seres humanos. Se les llamó contaminantes *criterio* porque fueron objeto de estudios de evaluación

publicados en documentos de criterios de calidad del aire. En el nivel internacional los contaminantes criterios son:

- a) Material Particulado (MP): Inicialmente con la denominación de partículas totales en suspensión (PTS), las cuales son partículas sólidas o líquidas del aire, se reconoció a una amplia categoría de material particulado como contaminante criterio. Desde la segunda mitad de la década de 1980, varios países incluyeron en sus normas sobre material particulado a las partículas con menos de 10 micrómetros de diámetro aerodinámico (PM10). En la segunda mitad de la década de 1990, las normas sobre material particulado especificaron considerar no solo al PM10 sino también al material particulado con menos de 2,5 micrómetros de diámetro aerodinámico (PM2,5). El motivo de este cambio es que las partículas más pequeñas son más peligrosas para el hombre porque tienen mayor probabilidad de ingresar a la parte inferior de los pulmones.

En la naturaleza el material particulado se forma por muchos procesos, tales como el viento, polinización de plantas e incendios forestales. Las principales fuentes antropogénicas de pequeñas partículas incluyen la quema de combustibles sólidos como la madera y el carbón, las actividades agrícolas como la fertilización, almacenamiento de granos y la industria de la construcción.

- b) Monóxido de carbono (CO): Es un gas incoloro e inodoro que en concentraciones altas puede ser letal. En la naturaleza se forma mediante la oxidación del metano, que es un gas común producido por la descomposición de la materia orgánica. La principal fuente antropogénica de monóxido de carbono es la quema incompleta de combustible como la gasolina.

El monóxido de carbono es especialmente problemático en zonas urbanas con gran número de automóviles; por lo que el volumen del tránsito y el clima local influyen sobre su concentración en el aire. Los efectos sobre la salud dependen de la concentración y duración de la exposición.

El monóxido de carbono en los seres humanos afecta el suministro de oxígeno en el torrente sanguíneo. Normalmente, los glóbulos rojos transportan el oxígeno por todo el cuerpo pero cuando hay monóxido de carbono este atrae más a los glóbulos rojos que al oxígeno lo que da lugar a la escasez de oxígeno en la sangre.

- c) Óxidos de Azufre (SOx): Los óxidos de azufre son gases incoloros que se forman al quemar el azufre. El dióxido de azufre (SO₂) es el contaminante criterio que indica la

concentración de óxidos de azufre en el aire. La fuente primaria de óxidos de azufre es la quema de combustibles fósiles, en particular el carbón. Se ha denominado el óxido de azufre como un contaminante que “pasa a través de” porque la cantidad de este contaminante emitido al aire es casi la misma cantidad presente en el combustible.

Los óxidos de azufre también son responsables de algunos efectos sobre el bienestar. El de mayor preocupación es la contribución de óxidos de azufre a la formación de lluvia ácida que puede perjudicar lagos, la vida acuática, materiales de construcción y la vida silvestre.

- d) Óxidos de Nitrógeno (NO_x): Los óxidos de nitrógeno comúnmente referidos como NO_x son un grupo de gases conformado por el nitrógeno y oxígeno, siendo el Nitrógeno el elemento más común del aire el cual representa el 78% del aire que respiramos. Los óxidos de nitrógeno incluyen compuestos como óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO₂). El término NO_x se refiere a la combinación de estas dos sustancias.

Las fuentes más comunes de óxido de nitrógeno son la descomposición bacteriana de nitratos orgánicos, incendios forestales y de pastos, y la actividad volcánica. Las fuentes principales de emisión antropogénica son los escapes de los vehículos y la quema de combustibles fósiles.

- e) Ozono (O₃): El ozono es considerado como un contaminante criterio y secundario. Se forma mediante la reacción química del dióxido de nitrógeno (NO₂) y compuestos orgánicos volátiles (COV) en presencia de la luz solar. El ozono es el principal componente del smog o niebla fotoquímica y causa efectos nocivos en los seres humanos y plantas.

Una estrategia de control para el ozono es reglamentar las fuentes de COV y óxidos de nitrógeno. Las fuentes principales de estos contaminantes son los productos de combustión incompleta que emiten los escapes de los vehículos, la quema de combustibles fósiles, el uso de compuestos de petróleo y solventes orgánicos en procesos industriales y de limpieza.

El ozono tiene la singularidad que es también beneficioso para los seres humanos y otros seres vivos. Es un componente necesario de la estratosfera, la capa del aire que protege la troposfera, porque sirve para proteger a la tierra de la nociva radiación ultravioleta del sol. Sin embargo, cuando se encuentra en concentraciones

altas en la troposfera o capa inferior de la atmósfera, se le considera un contaminante.

- f) Plomo (Pb): El plomo es una sustancia natural que abunda en el ambiente. Debido a sus propiedades físicas que le permiten formarse y moldearse fácilmente, tiene muchas aplicaciones.

El plomo se usaba frecuentemente para fabricar tuberías de agua y recipientes para alimentos; también ha sido un ingrediente importante en la fabricación de pinturas y gasolina.

La fuente primaria de contaminación del aire por plomo ha sido el uso de combustibles con plomo en automóviles. Como un aditivo en la gasolina el plomo desacelera el proceso de combustión en los motores. Debido a que el plomo no se consume en el proceso de combustión, se emite como material particulado. Uno de los más grandes éxitos ambientales de los dos últimos decenios ha sido la reducción de plomo en el aire gracias al mayor uso de la gasolina sin plomo y a la reducción del contenido de plomo en combustibles con plomo.

El plomo es un contaminante importante del aire porque es tóxico para los humanos y debido a su difícil remoción del cuerpo, hace que se acumule en varios órganos y puede dañar el sistema nervioso central.

4. TÉCNICAS BÁSICAS DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES

Las técnicas descritas a continuación son el resultado de un proceso de investigación que permitió identificar los métodos que actualmente utilizan tanto en Argentina como en Europa, Asia, Estados Unidos y la Organización Mundial de la Salud (OMS), para realizar inventarios de emisiones.

4.1 Muestréos en la fuente

El propósito de cualquier programa de muestreo en la fuente es determinar la concentración del contaminante en una corriente de gas o la tasa de emisión del contaminante de una chimenea o del escape de un proceso. Midiendo la concentración del contaminante en un volumen conocido de gas y determinando la

tasa de flujo del gas en una chimenea es posible calcular la tasa de emisión en masa del contaminante.

Debido a la complejidad técnica del muestreo en la fuente, se requiere de tiempo y equipo para obtener datos de emisiones que sean exactos y válidos para numerosos contaminantes de una fuente. En consecuencia, el costo de realizar un muestreo de este tipo en una planta puede ser muy alto; sin embargo si se aplica correctamente, este método puede proporcionar una mejor estimación de las emisiones de una fuente que los factores de emisión o los balances de materiales.

El uso de datos de muestreo en la fuente reduce el número de suposiciones relacionadas con la aplicabilidad de factores de emisión generalizados, las eficiencias del equipo de control de contaminación del aire, las variaciones del equipo, o las características del combustible que son aplicadas a tipos similares de fuentes de emisión para estimar las tasas de emisión de los contaminantes. Los datos de muestreo en fuente deben usarse para estimar emisiones sólo si los datos se obtuvieron en condiciones representativas de la operación normal del proceso. Los datos de emisión determinados a partir de un muestreo en la fuente pueden extrapolarse para estimar las emisiones anuales de una fuente si la operación del proceso no varía de manera significativa.

El Muestreo Isocinético es la medición en chimenea más usado, básicamente se trata de extraer una muestra del flujo de aire de una chimenea a condiciones isocinéticas; es decir, evitando que se presente separación mecánica debido a la inercia de las partículas, por lo tanto debe hacerse a unas condiciones de velocidad y temperatura iguales a las presentadas en el ducto. Este trabajo de campo se combina con trabajo de laboratorio, para obtener resultados que son comparados con las normas establecidas en la normatividad ambiental.

El principio de funcionamiento consiste básicamente que la corriente de gas es succionada a través de la boquilla (Nozzle), conducida por la sonda (Probe) hacia la caja caliente (hot box) donde las partículas pasan a través de un filtro, donde son removidas de la corriente gaseosa, luego el gas caliente pasa a una caja fría (cold Box) en donde se encuentran 4 percutores; los dos primeros contienen cada uno 100 mililitros de agua destilada, el tercero se encuentra vacío y el último contiene 200

gramos de silica gel. Estos percutores se encuentran sumergidos en hielo el cual por diferencia de temperaturas causa condensación.

El equipo cuenta con un cordón umbilical el cual conduce el gas que sale de la caja fría hacia la consola, que contiene en su interior un manómetro para determinar la caída de presión a través de un orificio y otro que marca la diferencia de presión del tubo de pitot en S, colocado junto con la boquilla en el interior de la chimenea; la succión para que el equipo funcione la realiza una bomba de vacío. El muestreador contiene un medidor de gas seco en el cual se registra el volumen de aire succionado.

4.2 Modelos de Emisión

Muchas estimaciones de emisiones se desarrollan utilizando un factor de emisión que supone una relación lineal entre la tasa de emisión y una unidad de actividad (ej. cantidad de combustible consumido, tasa de producción, población, empleo, etc.). Para ciertas categorías de fuente la relación funcional entre las emisiones, los procesos múltiples y las variables ambientales se estudia suficientemente para soportar el desarrollo de modelos complejos. Si estos modelos de emisión requieren cálculos complejos o grandes volúmenes de datos para alimentarlos, es probable que se basen en computadoras.

Si bien los modelos están diseñados para producir estimaciones más exactas que las obtenidas con factores de emisión, la exactitud de la estimación siempre dependerá de la calidad de los datos con que se alimente el modelo y de las suposiciones en que se base. Por lo tanto, antes de decidir utilizar un modelo como la alternativa para un tipo específico de fuente es importante comparar las necesidades del modelo de emisión con los datos disponibles.

Para estimar emisiones pueden requerirse uno o varios parámetros físicos de la fuente para la cual se usará el modelo. Asimismo, es importante revisar que la conversión de las unidades métricas de los datos disponibles a las unidades estándar inglesas requeridas sea correcta si se están aplicando modelos de los EU.

4.3 Encuestas

Una encuesta es la técnica que se usa por lo común para recolectar datos para los inventarios de emisiones de fuentes puntuales. El cuestionario debe enviarse a cada

planta solicitando información acerca de las características de cada uno de sus dispositivos emisores.

También se puede usar el método de encuesta para reunir la información necesaria para calcular las estimaciones de fuentes de área o para desarrollar factores de emisión específicos para una región que sirvan para hacer ciertas estimaciones de emisiones de fuentes de área.

La realización de una encuesta consta de varios pasos. Ya sea para una encuesta de fuentes puntuales o de área, el primer paso es determinar un tamaño adecuado de muestra e identificar las plantas y subcategorías, así como las diferencias en los procesos dentro de la categoría de fuentes encuestada, para preparar posteriormente las listas de distribución por correo.

Se deben diseñar los cuestionarios, ordenarlos y enviarlos por correo o entregarlos personalmente, preparar y organizar los procedimientos para el manejo de datos y se deben establecer sistemas para la recepción de las respuestas. Se requiere un considerable esfuerzo mental y de planeación para diseñar un nuevo cuestionario o para modificar alguno ya existente.

El grado de éxito de una encuesta depende mucho de si ésta se encuentra apoyada por una agencia regulatoria y también de qué tan concisa es, de su facilidad de uso y de lo general del cuestionario. Además, las respuestas deben sujetarse a profundas revisiones para el aseguramiento y control de calidad (AC/CC) para eliminar los datos inválidos.

Entre las principales etapas para la aplicación de las encuestas como método de estimación de emisiones encontramos las siguientes: Planeación inicial, identificación de plantas, selección de muestras, determinación del tamaño de la muestra, limitación del tamaño de la encuesta por correo, diseño de los cuestionarios, renovación de contactos, acceso a los archivos de contaminación del aire en la agencia y escalamiento de los resultados de la encuesta.

4.4 Factores de Emisión

Los factores de emisión se usan a menudo para calcular las emisiones cuando los datos de monitoreo de chimeneas específicos del sitio no están disponibles. Un factor

de emisión es una relación entre la cantidad de contaminante emitido a la atmósfera con una unidad de actividad.

Los factores de emisión básicamente se pueden clasificar en dos tipos: los basados en procesos y los basados en censos. Por lo general, los primeros se usan para desarrollar estimaciones de emisiones de fuentes puntuales y a menudo se combinan con los datos de actividad recopilados de una encuesta o de un balance de materiales; los factores de emisión basados en censos, por otro lado, se usan mucho para hacer estimaciones de emisiones de fuentes de área.

4.1.1 Factores de Emisión Basados en Procesos: Se han realizado varios programas de muestreo de fuentes para medir las tasas de emisión de ciertos dispositivos o procesos que se sabe que son fuentes de emisiones al aire. Puesto que con frecuencia no se requiere ni es económicamente factible hacer un muestreo en cada fuente emisora, los resultados de muestreos de “fuentes representativas” se usan para desarrollar factores de emisión basados en procesos, para dispositivos o procesos similares. Estos factores se expresan en la forma general de masa de contaminante emitido por unidad de proceso. Entre las unidades de proceso más comunes se encuentran el consumo de energía, el rendimiento de materiales, las unidades de producción, el calendario de operación, o el número de dispositivos ó las características de éstos.

La fuente de consulta más extensa para factores de emisión basados en procesos, específicos para los Estados Unidos, es el documento AP-42 Compilation of Air Pollutant Emission Factors (U.S. EPA, January 1995a). La referencia principal para factores de emisión de contaminantes tóxicos del aire es el sistema de datos FIRE (U.S. EPA, 1995b).

4.1.2 Factores de Emisión Basados en Censos: Las fuentes de área en ciertas categorías son difíciles de inventariar usando cualquiera de las metodologías antes presentadas. El uso de factores de emisión basados en censos es un método eficiente para tipos de fuentes emisoras dispersas y numerosas que no se pueden caracterizar rápidamente conociendo las tasas de proceso, de consumo de combustible y/o de alimentación de materiales. Comparadas con otras técnicas de estimación de emisiones el uso de factores de emisión basados en censos es la opción más “amigable” y más efectiva

dado que los datos de censos ya están disponibles en la mayor parte de las regiones donde se hacen inventarios de emisiones.

Sin embargo, la desventaja de usar factores de emisión existentes basados en censos es que la mayor parte de ellos fueron desarrollados en EU o en Europa y es posible que no representen las condiciones socioeconómicas y las prácticas de control de la zona objeto de estudio. Asimismo, es importante recordar que los factores de emisión basados en censos son más exactos cuando se aplican a toda la región para la que el factor de emisión fue desarrollado que cuando se aplica a regiones más pequeñas.

4.5 Balance de materiales

El balance de materiales (también conocido como balance de masa), es un método utilizado comúnmente para estimar las emisiones de muchas categorías de fuentes. El método de balance de materiales puede usarse en los casos en que no hay datos disponibles de muestreos en la fuente, factores de emisión u otros métodos desarrollados.

De hecho, para algunas fuentes, un balance de materiales es el único método práctico para estimar las emisiones con exactitud.

El uso de un balance de materiales implica el análisis de un proceso para determinar si las emisiones pueden ser estimadas solamente con el conocimiento de los parámetros específicos de operación y de las composiciones de los materiales. Si bien el balance de materiales es una herramienta valiosa para estimar las emisiones de muchas fuentes su aplicación requiere que se conozca alguna medida del material que está siendo “balanceado” en cada punto a lo largo del proceso.

El uso del balance de materiales es muy adecuado en los casos en que pueden hacerse mediciones exactas de todos los componentes, excepto las emisiones al aire. Si no se cuenta con esta información y, por lo tanto debe suponerse, se podrían generar serios errores.

Esta técnica es aplicable de igual manera tanto para las fuentes puntuales como para las de área. En las fuentes puntuales se puede usar a nivel de dispositivo o de planta, mientras que en el caso de las fuentes de área el balance de materiales podría aplicarse a nivel regional o nacional.

4.6 Extrapolación

Las técnicas de extrapolación pueden usarse para calcular emisiones directamente y para verificar las estimaciones de emisiones calculadas con otros métodos. En general, la extrapolación de emisiones de una región geográfica a otra se considera como el enfoque menos deseable para la estimación de emisiones.

Este enfoque puede no tomar en cuenta de manera apropiada algunas diferencias importantes entre dos regiones y puede propagar los sesgos de un inventario a otro.

Sin embargo, cuando se combina con un marco de modelado, la extrapolación es un enfoque práctico y eficiente para desarrollar estimaciones de emisiones para aquellas regiones en las que la información no es suficiente para soportar metodologías de estimación más rigurosas.

En primer lugar, los datos de emisiones de un tipo de proceso o de planta, pueden ser extrapolados a tipos de fuente o de planta similares. Este tipo de extrapolación se usaría para hacer estimaciones de emisiones de fuentes puntuales.

En otros casos si se puede argumentar que las condiciones socioeconómicas entre dos o más regiones geográficas son comparables, los datos disponibles de emisiones de fuentes de área para una región pueden ser extrapolados a las demás regiones basándose en datos de población y de empleo.

5. EMISIONES ATMOSFÉRICAS GENERADAS EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE ARROZ EN MOLINOS

Las emisiones atmosféricas generadas por el proceso de la molinería de arroz son principalmente material particulado y en menor proporción gases de combustión. El material particulado se presenta en la mayoría de las etapas del proceso por las actividades de cargue, descargue, manejo, acondicionamiento, trilla, entre otras y los gases de combustión se generan durante la etapa de secamiento del grano, donde se utilizan quemadores de gas natural o carbón coke para calentar el aire que pasa a través de los lechos de granos.

Teniendo en cuenta que las emisiones de gases de combustión son mínimas, para el presente estudio solo se propuso la determinación de la carga de material particulado dado que se produce en la mayoría de las etapas del proceso y es un contaminante que incide significativamente sobre la calidad del aire y la salud pública.

6. RECOPIACIÓN DE DATOS

6.1 Datos de Campo

La información necesaria para calcular las emisiones de material particulado se recopiló por medio de visitas a cada una de las molinerías. Los datos meteorológicos fueron obtenidos de la Estación Meteorológica “Galileo Galilei” de la UTN FRCon. Estos dos tipos de datos serán los usados en el cálculo de la concentración de material particulado en la atmósfera.

6.2 Datos de la EPA

(Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos). Factores de emisión para la industria de molinería de arroz.

7. FUENTES DE EMISIÓN DE MATERIAL PARTICULADO

La industria molinera se caracteriza por la similitud de sus procesos, equipos y sistemas de control. Por lo tanto, en la tabla a continuación, se especifican las etapas y operaciones donde se generan las emisiones de material particulado, las cuales son iguales en las molinerías de arroz analizadas:

ETAPA	OPERACIÓN	CONTROL
Acondicionamiento	Recepción	No Controlada
	Prelimpieza	Ciclón
	Secado	No Controlada
Trilla	Alimentación	No Controlada
	Limpieza	No Controlada
	Separación	No Controlada
Disposición de Subproductos	Descargue cascarilla	No Controlada
	Almacenamiento polvo	Cuarto de polvo, Ciclón, Filtro de mangas
	Recuperación de harinas	Ciclón, Filtro de mangas

Tabla 1 – Etapas de la producción donde se generan emisiones de material particulado

8. CONCEPTOS NECESARIOS PARA EL CÁLCULO DE EMISIONES Y DE CONCENTRACIONES DE MATERIAL PARTICULADO: ESTABILIDAD ATMOSFÉRICA Y ALTURA DE CAPA DE MEZCLA

El grado de dispersión de los contaminantes depende del nivel de turbulencia en la atmósfera circundante, el cual puede ser creado por el movimiento vertical y/u horizontal de la atmósfera. El movimiento horizontal de la atmósfera, es lo que comúnmente llamamos viento, mientras que el movimiento vertical depende de la “Estabilidad Atmosférica”. La estabilidad atmosférica es la capacidad de la atmósfera para favorecer la dispersión de los contaminantes. Las condiciones básicas que se pueden presentar son:

- Condiciones atmosféricas estables: generalmente durante la noche, el aire cerca de la superficie de la tierra es mas frio y pesado. Estas condiciones desfavorecen el movimiento vertical del aire, llegando, en condiciones óptimas, a inhibirlo.
- Condiciones atmosféricas inestables: generalmente, durante el día, el aire cerca de la superficie de la tierra es más caliente y liviano. Estas condiciones favorecen el movimiento vertical del aire.
- Condiciones atmosféricas neutras: no promueven ni prohíben el movimiento vertical del aire.

La estabilidad atmosférica se clasifica en letras, donde la A representa la condición de inestabilidad extrema, la D la condición de neutralidad y la F la condición de estabilidad extrema. La adopción del tipo de estabilidad depende de la velocidad del viento en m/s y de la radiación solar incidente (insolación) durante el día, mientras que durante la noche depende de la fracción o porcentaje de nubosidad. La insolación fuerte corresponde a días soleados en pleno verano, mientras que insolación leve corresponde a condiciones similares en invierno. La noche es el período comprendido entre una hora antes del atardecer y una hora después del amanecer.

Otro concepto importante y necesario para poder cuantificar y cualificar la concentración de material particulado, es la definición de “Altura de capa de Mezcla”.

Para esto, debemos definir previamente lo que es una “Parcela de aire”. Una parcela de aire, en el marco de la dinámica de fluidos, es una muy pequeña cantidad de fluido identificable a lo largo de su historia dinámica mientras se mueve con el flujo. A medida que se mueve, la masa de una parcela de aire permanece constante. El enfoque matemático usualmente elegido para describir el movimiento de una parcela de aire, es el “Enfoque Lagrangiano”, en el cual se etiqueta cada parcela de aire para ser seguida a través del espacio y el tiempo. A continuación, se explicará brevemente el comportamiento de una parcela de aire en términos de los parámetros atmosféricos intervinientes:

La flotabilidad de una parcela de aire depende de la temperatura y de la presión atmosférica. Como la temperatura del aire es proporcional a la presión atmosférica (Ley de los gases ideales), y la presión atmosférica decrece con la altura, la temperatura también lo hará. Una parcela más caliente que el aire se elevará, dependiendo su elevación de la diferencia de temperatura entre la parcela y el aire circundante. Si la parcela es más fría se producirá el efecto contrario, y ni se elevará ni descenderá si tienen la misma temperatura.

El gradiente adiabático es la variación de temperaturas que experimentan las masas de aire en movimiento vertical. En condiciones promedio disminuye $6,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ por cada 1000m ($-6,5\text{ }^{\circ}\text{C}/1000\text{m}$). Sin embargo, la humedad afecta a este gradiente. Si no se produce condensación de la masa de aire se denomina “Gradiente adiabático Seco”, y es de aproximadamente $9,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ por cada 1000m de altura ($-9,8\text{ }^{\circ}\text{C}/1000\text{m}$). Que sea adiabático, significa que la parcela de aire, en su ascenso, no intercambia calor con el medio circundante, por lo que el cambio de temperatura se produce solo por la variación de presión que dicha parcela sufre en su movimiento. Cuando la parcela se eleva disminuye la cantidad de choques cinéticos entre las partículas de aire que contiene, debido a la expansión que se produce en su volumen, generada por la pérdida de presión. Cuando la parcela desciende, se genera una compresión de su volumen, induciendo mayor actividad cinética de sus partículas y elevando así su temperatura.

En el caso en que la parcela contenga humedad, esta condensará cuando se alcance el punto de rocío, que es la temperatura a la cual se produce dicha

condensación. La condensación produce calor latente en la parcela de aire y el gradiente disminuye a valores de entre $6 - 7 \text{ }^\circ\text{C}/1000\text{m}$.

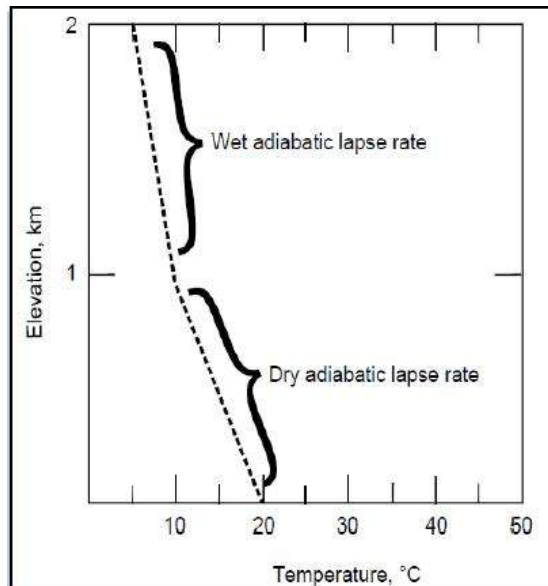


Fig. 4 – Gradiente adiabático

El “Gradiente Ambiental” es definido como el perfil real de temperatura del aire ambiental, donde, generalmente, también se observa la disminución de temperatura con la altura. Varía según el lugar y la hora del día y determina el grado en que una parcela de aire se mueve, elevándose o descendiendo. Puede ser mayor, igual o menor al gradiente adiabático seco.

Cuando el gradiente ambiental es positivo, es decir, cuando la temperatura aumenta con la altura, se produce una “Inversión Térmica”, lo cual limita el movimiento vertical del aire, situación que se da generalmente de noche en las ciudades, cuando el aire caliente asciende.

Definidos entonces el gradiente adiabático seco y el gradiente ambiental, se dará a continuación una explicación más detallada de las condiciones atmosféricas.

Las condiciones inestables se producirán cuando la diferencia entre ambos gradientes aumente con la altura, produciéndose un aumento de la capacidad de flotación de la parcela de aire. La circulación vertical en ambas direcciones aumenta y se produce una mezcla vertical considerable. Luego, las condiciones inestables se darán en días con vientos de poca intensidad y fuerte insolación.

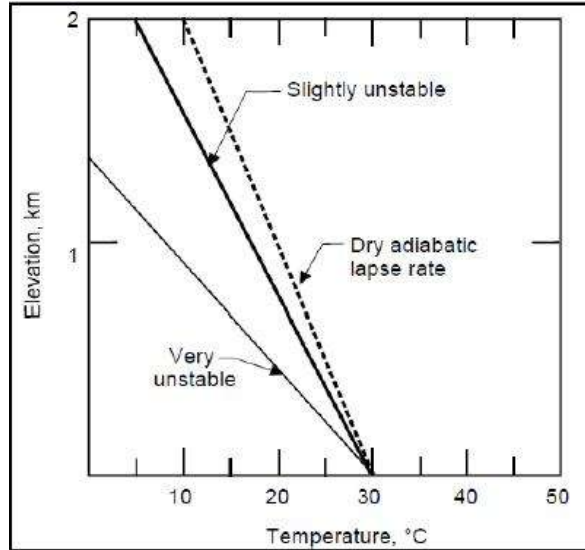


Fig. 5 – Condiciones de inestabilidad atmosférica

Las condiciones neutras se darán cuando ambos gradientes son iguales. Se darán en noches y días ventosos o cuando existe una capa de nubes impidiendo el calentamiento y/o enfriamiento de la superficie.

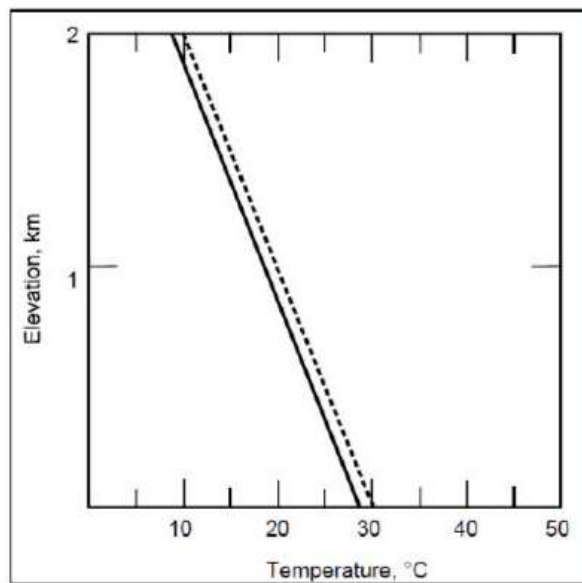


Fig. 6 – Condiciones de neutralidad atmosférica

Por último, las condiciones estables se darán cuando el gradiente ambiental sea menor que el gradiente adiabático seco, inhibiendo la circulación vertical. Se produce en noches poco ventosas.

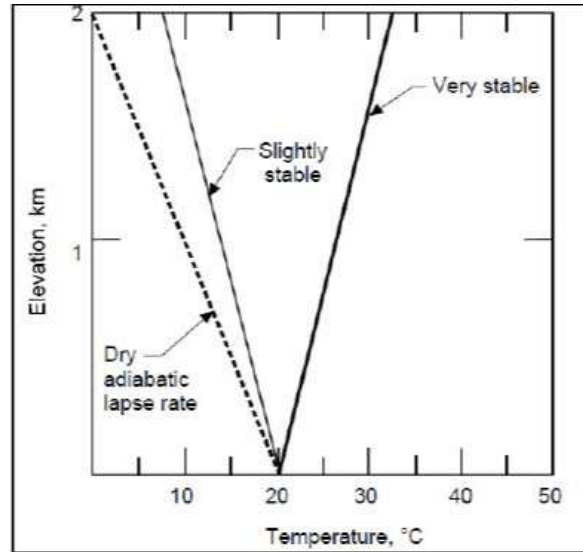


Fig. 7 – Condiciones de estabilidad atmosférica

Se define “Altura de capa de mezcla” como la máxima altura a la que puede ascender una parcela de aire, establecida por la intersección de los perfiles de ambos gradientes. Si no hay intersección (gradiente ambiental mayor que el gradiente adiabático seco), la altura de capa de mezcla se extiende a niveles superiores.

La capa por debajo de la altura de mezcla se denomina “Capa de mezcla”, y define el volumen de aire disponible para la dispersión de los contaminantes. Cuanto mayor sea la altura de capa de mezcla, mayor será el volumen disponible para lo expuesto.

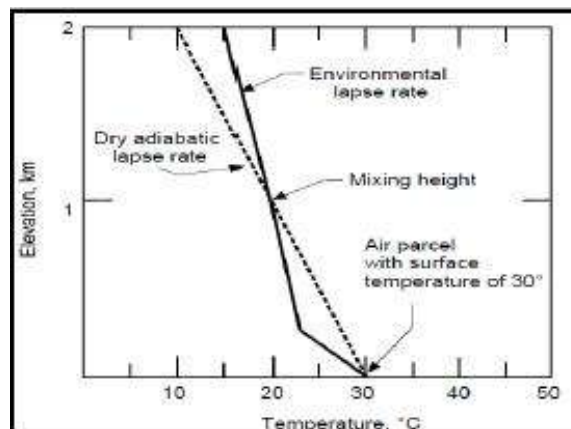


Fig. 8 – Altura de capa de mezcla

9. CÁLCULO DE LAS TASAS DE EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO PARA EL PARQUE AUTOMOTOR EXISTENTE

Para estimar la tasa de emisión de material particulado emitida por el parque automotor, fue necesario realizar un relevamiento del mismo, haciendo uso de las boletas de impuesto automotor correspondientes.

Se tomo una muestra de 809 vehículos sobre una población total de 1800, discriminando por modelos entre automóviles, camionetas, camiones y motocicletas. Se muestra a continuación, una tabla resumen de los resultados obtenidos del análisis de la muestra.

Modelo	Muestreo			
	Autos	Camionetas	Motos	Camiones
2016	9	4	4	0
2015	21	8	12	2
2014	20	11	24	0
2013	29	9	21	2
2012	33	7	12	1
2011	30	16	8	2
2010	19	6	1	0
2009	19	5	0	1
2008	31	13	0	2
2007	22	8	0	1
2006	25	8	0	2
2005	23	11	0	2
2004	25	6	0	5
2003	6	13	0	1
2002	7	4	0	0
2001	7	4	0	2
2000	15	6	0	3
1999	14	9	0	1
1998	27	12	0	3
1997	20	4	0	3
1996	25	1	0	1
1995	17	4	0	2
1994	23	4	0	2
1993	26	4	0	3
1992	2	3	0	4
1991	0	2	0	1

1990	1	1	0	0
1989	1	1	0	0
Totales	497	184	82	46
Incidencia	61%	23%	10%	6%
Muestra	809			
Total Población	1800			

Tabla 2 – Muestro del Parque Automotor

La siguiente tabla, muestra el cálculo de la extrapolación de la cantidad de vehículos por clase y modelos para el total de la población.

Modelos	Incidencias Parciales				Totales			
	Autos	Camionetas	Motos	Camiones	Autos	Camionetas	Motos	Camiones
2016	1,11%	0,49%	0,49%	0,00%	20	9	9	0
2015	2,60%	0,99%	1,48%	0,25%	47	18	27	4
2014	2,47%	1,36%	2,97%	0,00%	44	24	53	0
2013	3,58%	1,11%	2,60%	0,25%	65	20	47	4
2012	4,08%	0,87%	1,48%	0,12%	73	16	27	2
2011	3,71%	1,98%	0,99%	0,25%	67	36	18	4
2010	2,35%	0,74%	0,12%	0,00%	42	13	2	0
2009	2,35%	0,62%	0,00%	0,12%	42	11	0	2
2008	3,83%	1,61%	0,00%	0,25%	69	29	0	4
2007	2,72%	0,99%	0,00%	0,12%	49	18	0	2
2006	3,09%	0,99%	0,00%	0,25%	56	18	0	4
2005	2,84%	1,36%	0,00%	0,25%	51	24	0	4
2004	3,09%	0,74%	0,00%	0,62%	56	13	0	11
2003	0,74%	1,61%	0,00%	0,12%	13	29	0	2
2002	0,87%	0,49%	0,00%	0,00%	16	9	0	0
2001	0,87%	0,49%	0,00%	0,25%	16	9	0	4
2000	1,85%	0,74%	0,00%	0,37%	33	13	0	7
1999	1,73%	1,11%	0,00%	0,12%	31	20	0	2
1998	3,34%	1,48%	0,00%	0,37%	60	27	0	7
1997	2,47%	0,49%	0,00%	0,37%	44	9	0	7
1996	3,09%	0,12%	0,00%	0,12%	56	2	0	2
1995	2,10%	0,49%	0,00%	0,25%	38	9	0	4
1994	2,84%	0,49%	0,00%	0,25%	51	9	0	4
1993	3,21%	0,49%	0,00%	0,37%	58	9	0	7
1992	0,25%	0,37%	0,00%	0,49%	4	7	0	9
1991	0,00%	0,25%	0,00%	0,12%	0	4	0	2

1990	0,12%	0,12%	0,00%	0,00%	2	2	0	0
1989	0,12%	0,12%	0,00%	0,00%	2	2	0	0

Tabla 3 – Extrapolación del Parque Automotor

Los factores de emisión usados, fueron obtenidos de la Norma de la Unión Europea, Euro I, Euro II, Euro III, Euro IV, Euro V y Euro VI. Esta Norma clasifica y subclasifica a los vehículos teniendo en cuenta sus características constructivas, como se puede ver en la siguiente tabla.

Categorías por Criterios de Homologación	Descripción
Categoría M	Vehículos de motor concebidos y fabricados principalmente para el transporte de personas y su equipaje (Reglamento UE 678/2011)
Categoría M ₁	Vehículos de la categoría M que tengan, como máximo, ocho plazas de asiento además de la del conductor. No dispondrán de ningún espacio para viajeros de pie. El número de plazas podrá limitarse a una (es decir la del conductor).
Categoría M ₂	Vehículos de la categoría M que tengan más de ocho plazas de asiento además de la del conductor y cuya masa máxima no sea superior a 5 toneladas. Los vehículos pertenecientes a la categoría M2 podrán tener, además de las plazas de asiento, espacio para viajeros de pie.
Categoría M ₃	Vehículos de la categoría M que tengan más de ocho plazas de asiento además de la del conductor y cuya masa máxima sea superior a 5 toneladas. Los vehículos pertenecientes a la categoría M3 podrán tener espacio para viajeros de pie.
Categoría N	Vehículos de motor concebidos y fabricados principalmente para el transporte de mercancías.
Categoría N ₁	Vehículos de la categoría N cuya masa máxima no sea superior a 3,5 toneladas.
Categoría N ₂	Vehículos de la categoría N cuya masa máxima sea superior a 3,5 toneladas pero no a 12 toneladas.
Categoría N ₃	Vehículos de la categoría N cuya masa máxima sea superior a 12 toneladas.
Categoría O	Remolques concebidos y fabricados para el transporte de mercancías o de personas, así como para alojar personas.
Categoría O ₁	Vehículos de la categoría O cuya masa máxima no sea superior a 0,75 toneladas.
Categoría O ₂	Vehículos de la categoría O cuya masa máxima sea superior a 0,75 toneladas, pero no a 3,5 toneladas.
Categoría O ₃	Vehículos de la categoría O cuya masa máxima sea superior a 3,5 toneladas, pero no a 10 toneladas.
Categoría O ₄	Vehículos de la categoría O cuya masa máxima sea superior a 10 toneladas.
Categoría L	Vehículos a motor con menos de cuatro ruedas (Resolución de conjunto R.E.3.)
Categoría L ₁	Vehículos de dos ruedas de cilindrada $\leq 50 \text{ cm}^3$ (en caso de motor térmico) y velocidad máxima $\leq 50 \text{ km/h}$.
Categoría L ₂	Vehículos de tres ruedas de cilindrada $\leq 50 \text{ cm}^3$ (en caso de motor térmico) y velocidad máxima $\leq 50 \text{ km/h}$.
Categoría L ₃	Vehículos de dos ruedas de cilindrada $> 50 \text{ cm}^3$ (en caso de motor térmico) o velocidad máxima $> 50 \text{ km/h}$.
Categoría L ₄	Vehículos de tres ruedas asimétricas, con respecto al eje medio longitudinal del vehículo, de cilindrada $> 50 \text{ cm}^3$ (en caso de motor térmico), o bien velocidad máxima $> 50 \text{ km/h}$.
Categoría L ₅	Vehículos de tres ruedas simétricas, con respecto al eje medio longitudinal del vehículo, de cilindrada $> 50 \text{ cm}^3$ (en caso de motor térmico), o bien velocidad máxima $> 50 \text{ km/h}$.

Tabla 4 – Categorías de vehículos según las Normas de la Unión Europea

Se calculó la tasa de emisión de los automóviles, camionetas y camiones, despreciando a las motocicletas por emitir en forma mucho menor que el resto de los vehículos. El cuadro siguiente, informa sobre la clasificación hecha por el autor, para luego poder determinar los factores de emisión correspondientes basándose en la citada Norma.

VEHICULOS	Automóviles	Camionetas	Motos	Camiones
CLASIFICACION	M	M	L	N
SUBCLASIFICACION	M1	M1	L3	N2

Tabla 5 – Clasificación del Parque Automotor en categorías

Para cada subclasificación interviniente, las Normas Euro definen los factores de emisión en unidades de g/km, para la subclasificación M1, y en g/kWh para la subclasificación N2. Además, presenta dichos factores en relación al avance de la Norma con el tiempo, disminuyéndolos a medida que se actualiza la misma.

M1 (g/Km)						
Tipo	Fecha	CO	HC	HC+NOx	NOx	PM
Diésel						
Euro I†	Julio de 1992	2.72 (3.16)	-	0.97 (1.13)	-	0.14 (0.18)
Euro II, IDI	Enero de 1996	1.0	-	0.7	-	0.08
Euro II, DI	Enero de ^a	1.0	-	0.9	-	0.10
Euro III	Enero de 2000	0.64	-	0.56	0.50	0.05
Euro IV	Enero de 2005	0.50	-	0.30	0.25	0.025
Euro V	Septiembre de 2009	0.50	-	0.23	0.18	0.005
Euro VI	Septiembre de 2014	0.50	-	0.17	0.08	0.005
Gasolina						
Euro I†	Julio de 1992	2.72 (3.16)	-	0.97 (1.13)	-	-
Euro II	Enero de 1996	2.2	-	0.5	-	-
Euro III	Enero de 2000	2.30	0.20	-	0.15	-
Euro IV	Enero de 2005	1.0	0.10	-	0.08	-
Euro V	Septiembre de 2009	1.0	0.10	-	0.06	0.005 ^b
Euro VI	Septiembre de 2014	1.0	0.10	-	0.06	0.005

Tipo	Fecha	N2 (g/kWh)			
		CO	NOx	HC	PM
Euro 0	1988-1992	12.30	15.8	2.60	none
<u>Euro I</u>	1992-1995	4.90	9.00	1.23	0.40
<u>Euro II</u>	1995-1999	4.00	7.00	1.10	0.15
<u>Euro III</u>	1999-2005	2.10	5.00	0.66	0.10
<u>Euro IV</u>	2005-2008	1.50	3.50	0.46	0.02
<u>Euro V</u>	2008-2012	1.50	2.00	0.46	0.02
<u>Euro VI</u>			0.8		

Tabla 6 – Factores de emisión según categorías de vehículos

Para obtener las tasas de emisión se utilizo, para ambas categorías seleccionadas, la misma ecuación, la cual es la más utilizada por diversos autores:

$$E = \sum FV_i * KRV_i * FE_i$$

Ec.1 – Tasa de emisión del contaminante

Donde:

- E = Tasa de emisión del contaminante (unidad de masa / unidad de tiempo)
- FV_i = Flota vehicular por tipo de vehículo i(número de vehículos)
- KRV_i = Distancia recorrida por tipo de vehículo i en un período determinado (unidad de distancia / unidad de tiempo)
- FE_i = Factor de emisión para el tipo de vehículo i, (unidad de masa / unidad de distancia)

Primeramente, se realizaron los cálculos para los vehículos de categoría M – subcategoría M1, considerando a KRV_i como la distancia promedio recorrida por la flota vehicular en cuestión en el intervalo de una hora en la zona urbana de estudio (velocidad promedio), obteniéndose los siguientes resultados:

Modelo	FVI			Categoría	Subcategoría	Norma correspondiente	Factor de emisión FEI (g/km)	Distancia promedio recorrida KRVI (Km en 1 hora)	Formula	Tasa de emisión
	Autos	Camionetas	Total							E (g/seg)
2016	20	9	29	M	M1	Euro VI	0,005	70	E = Σ FVI*KRVI*FEI	0,002812
2015	47	18	65	M	M1	Euro VI	0,005	70		0,006273
2014	44	24	69	M	M1	Euro VI	0,005	70		0,006706
2013	65	20	85	M	M1	Euro V	0,005	70		0,008220
2012	73	16	89	M	M1	Euro V	0,005	70		0,008653
2011	67	36	102	M	M1	Euro V	0,005	70		0,009951
2010	42	13	56	M	M1	Euro V	0,005	70		0,005408
2009	42	11	53	M	M1	Euro V	0,005	70		0,005192
2008	69	29	98	M	M1	Euro IV	0,025	70		0,047590
2007	49	18	67	M	M1	Euro IV	0,025	70		0,032447
2006	56	18	73	M	M1	Euro IV	0,025	70		0,035692
2005	51	24	76	M	M1	Euro IV	0,025	70		0,036774
2004	56	13	69	M	M1	Euro III	0,05	70		0,067058
2003	13	29	42	M	M1	Euro III	0,05	70		0,041100
2002	16	9	24	M	M1	Euro III	0,05	70		0,023795
2001	16	9	24	M	M1	Euro III	0,05	70		0,023795
2000	33	13	47	M	M1	Euro III	0,05	70		0,045426
1999	31	20	51	M	M1	Euro II	0,10	65		0,092398
1998	60	27	87	M	M1	Euro II	0,10	65		0,156675
1997	44	9	53	M	M1	Euro II	0,10	65		0,096415
1996	56	2	58	M	M1	Euro II	0,10	65		0,104450
1995	38	9	47	M	M1	Euro I	0,14	60		0,109023
1994	51	9	60	M	M1	Euro I	0,14	60		0,140173
1993	58	9	67	M	M1	Euro I	0,14	60		0,155748
1992	4	7	11	M	M1	Euro I	0,14	60		0,025958
1991	0	4	4	M	M1	Euro I	0,14	60		0,010383
1990	2	2	4	M	M1	Euro I	0,14	60		0,010383
1989	2	2	4	M	M1	Euro I	0,14	60		0,010383
Total										1,318881
Promedio										0,047102905

Tabla 7 – Tasas de emisión de categoría M – subcategoría M1

La representación gráfica de los resultados es la siguiente:

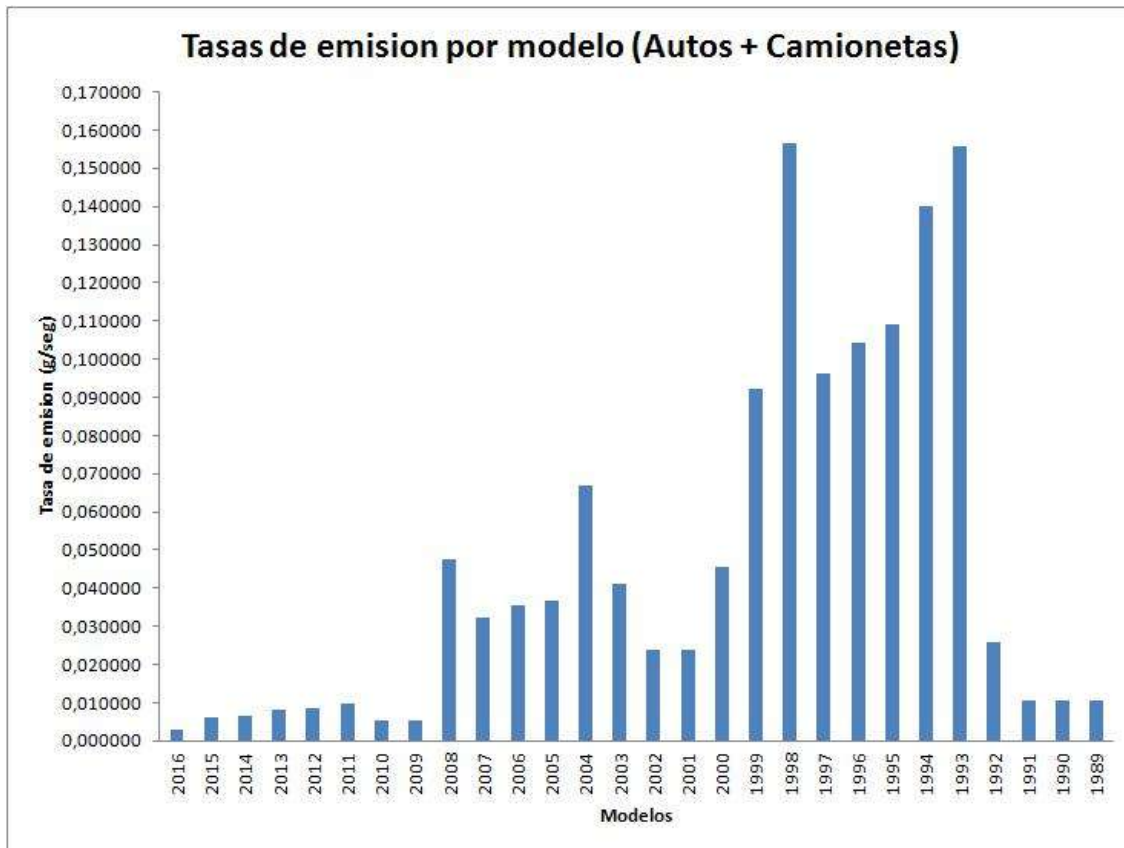


Fig. 9 – Tasas de emisión de categoría M – subcategoría M1

Como puede observarse, los modelos más antiguos son los que poseen mayor tasa de emisión de material particulado, dado que los valores límites establecidos por las normas son más altos que para modelos recientes. Por ejemplo, obsérvese el modelo 2011, el cual tiene un total de 102 vehículos categoría M1 y un factor de emisión de 0,005 g/km. Este modelo produce, en las condiciones de circulación supuestas, una tasa de emisión de 0,009951 g/seg, mientras que la flota perteneciente al modelo 1997, consta de aproximadamente la mitad de la flota del modelo 2011 y produce una tasa de emisión de aproximadamente diez veces mayor. Esto es así, porque el factor de emisión es veinte veces más grande (0,10 g/km).

A continuación, se muestra en forma resumida el proceso de selección de una configuración de ejes promedio y la tabla base de guía para ello, seguida de la estimación de la tasa de emisión de los vehículos de categoría N – subcategoría N2.

Modelo	FVi	Categoria	Subcategoria	Norma correspondiente	Factor de emision	Relacion Pot/Peso (Ideal)	Configuracion de ejes (Promedio)
	Camiones				FEi (g/kWh)	(kW/tn)	
2016	0	N	N2	Euro V	0,02	4,0625	S-1 (20mx2,60mx4,10m)
2015	4	N	N2	Euro V	0,02	4,0625	
2014	0	N	N2	Euro V	0,02	4,0625	
2013	4	N	N2	Euro V	0,02	4,0625	
2012	2	N	N2	Euro V	0,02	4,0625	
2011	4	N	N2	Euro V	0,02	4,0625	
2010	0	N	N2	Euro V	0,02	4,0625	
2009	2	N	N2	Euro V	0,02	4,0625	
2008	4	N	N2	Euro V	0,02	4,0625	
2007	2	N	N2	Euro IV	0,02	4,0625	
2006	4	N	N2	Euro IV	0,02	4,0625	
2005	4	N	N2	Euro IV	0,02	4,0625	
2004	11	N	N2	Euro III	0,10	4,0625	
2003	2	N	N2	Euro III	0,10	4,0625	
2002	0	N	N2	Euro III	0,10	4,0625	
2001	4	N	N2	Euro III	0,10	4,0625	
2000	7	N	N2	Euro III	0,10	4,0625	
1999	2	N	N2	Euro III	0,10	4,0625	
1998	7	N	N2	Euro II	0,15	4,0625	
1997	7	N	N2	Euro II	0,15	4,0625	
1996	2	N	N2	Euro II	0,15	4,0625	
1995	4	N	N2	Euro II	0,15	4,0625	
1994	4	N	N2	Euro I	0,40	4,0625	
1993	7	N	N2	Euro I	0,40	4,0625	
1992	9	N	N2	Euro I	0,40	4,0625	
1991	2	N	N2	Euro I	0,40	4,0625	
1990	0	N	N2	Euro I	0,40	4,0625	
1989	0	N	N2	Euro I	0,40	4,0625	

Tabla 8 – Selección de configuración de ejes promedio

El tipo de de vehículo promedio elegido, es el S1 (20mx2, 60mx4, 10m), el cual tiene su respectiva relación potencia/peso. El mismo se obtuvo de la siguiente tabla:


















TIPO DE VEHICULO	CONFIGURACION DE EJES	DIMENSIONES MAX.			PESO MAX (BRUTO)
		LARGO	ANCHO	ALTO	
	S-1 D-1	13.20	2.60	4.10	16.50
	S-1 D-2	13.20	2.60	4.10	24.00
	S-1 D-3	13.20	2.60	4.10	30.00
	S-2 D-2	13.20	2.60	4.10	28.00
	S-1 D-1 D-1	18.60	2.60	4.10	27.00
	S-1 D-1 D-2	18.60	2.60	4.10	34.50
	S-1 D-1 D-3	18.60	2.60	4.10	42.00
	S-1 D-2 D-2	18.60	2.60	4.10	42.00
	S-1 D-2 D-1 D-1	TOT.=18.60 DST. Ejes DE ACCOP. >2.40	2.60	4.10	45.00
	S-1 D-2 M-3	18.60	2.60	4.10	45.00
	S-1 D-2 D-1-2 D-1-2-3	18.60	2.60	4.10	45.00
	S-1 D-1 D-1 D-1 D-1	18.60	2.60	4.10	45.00
	S-1 D-1 D-1 D-1	TOT.= 20.00	2.60	4.10	37.50
	S-1 D-1 D-1 D-2	TOT.= 20.00	2.60	4.10	45.00
	S-1 D-2 D-1 D-1	TOT.= 20.00	2.60	4.10	45.00
	S-1 D-2 D-1 D-2	TOT.= 20.00	2.60	4.10	45.00
	S-1 D-1 D-1 D-1 D-1	TOT.= 20.50	2.60	4.10	45.00

Tabla 9 – Configuración de ejes según dimensiones y peso máximo

La representación gráfica de los resultados es la siguiente:

Tara + Carga (tn)	1/KRVi (h/Km)	Factor de emision FEi (g/km)	Distancia promedio recorrida (Km en 1 hora) KRVi (Km en 1 hora)	Formula	Tasa de emision E (g/seg)
45,00	0,017	0,061	60		0,000000
45,00	0,017	0,061	60		0,004519
45,00	0,017	0,061	60		0,000000
45,00	0,017	0,061	60		0,004519
45,00	0,017	0,061	60		0,002260
45,00	0,017	0,061	60		0,004519
45,00	0,017	0,061	60		0,000000
45,00	0,017	0,061	60		0,002260
45,00	0,017	0,061	60		0,004519
45,00	0,017	0,061	60		0,002260
45,00	0,017	0,061	60		0,004519
45,00	0,017	0,061	60		0,004519
45,00	0,018	0,332	55		0,056493
45,00	0,018	0,332	55		0,011299
45,00	0,018	0,332	55	$E = \sum FVi \cdot KRVi \cdot FEi$	0,000000
45,00	0,018	0,332	55		0,022597
45,00	0,018	0,332	55		0,033896
45,00	0,018	0,332	55		0,011299
45,00	0,020	0,548	50		0,050844
45,00	0,020	0,548	50		0,050844
45,00	0,020	0,548	50		0,016948
45,00	0,020	0,548	50		0,033896
45,00	0,020	1,463	50		0,090389
45,00	0,020	1,463	50		0,135584
45,00	0,020	1,463	50		0,180779
45,00	0,020	1,463	50		0,045195
45,00	0,020	1,463	50		0,000000
45,00	0,020	1,463	50		0,000000
Total					0,773959
Promedio					0,027641392

Tabla 10 – Tasas de emisión de categoría N – subcategoría N2

La representación gráfica de los resultados es la siguiente:

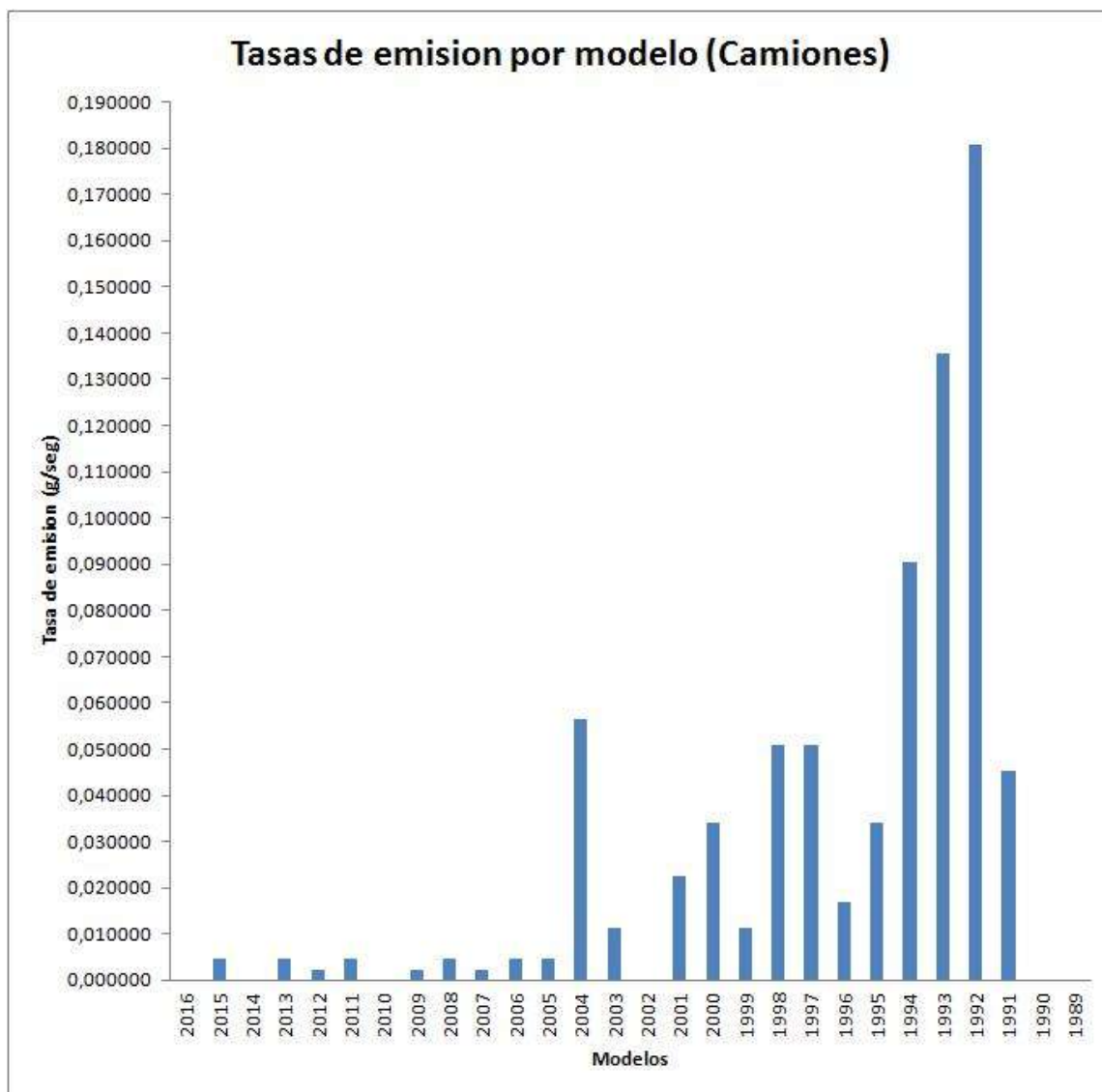


Fig. 10 – Tasas de emisión de categoría N – subcategoría N2

Se puede obtener, de la observación de la gráfica, las mismas conclusiones que se obtuvieron para los vehículos tipo M1.

En este caso, los factores de emisión se basan en la potencia del vehículo y no en su recorrido como unidad de producción. Por lo tanto, para llegar a una congruencia de unidades en la tasa de emisión de los vehículos tipo N2 con los vehículos tipo M1, se debe realizar la siguiente operación:

$$FE_i \left(\frac{gr}{Km} \right) = FE_i \left(\frac{gr}{kWh} \right) * Relacion \frac{potencia}{peso} \left(\frac{kW}{tn} \right) * (Tara + carga)(tn) * 1/KRV_i \left(\frac{h}{Km} \right)$$

Ec.2 – Homologación de unidades de la tasa de emisión para la categoría N
– subcategoría N2

10. CÁLCULO DE LAS TASAS DE EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO PARA LOS MOLINOS ARROCEROS EXISTENTES

Las emisiones atmosféricas generadas en cada una de las molinerías de arroz se calcularon utilizando la técnica de factores de emisión tal como se estableció anteriormente. Por lo tanto, se utilizaron los factores de emisión formulados por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) AP 42 sección 9.9.1 Grain Elevator and Grain Processing Plants-Abril 2003 los cuales fueron utilizados bajo las consideraciones de producción de arroz blanco y la existencia o no de sistemas de control atmosférico para material particulado. Las unidades de los factores de emisión están dadas en libras de material particulado por toneladas de arroz blanco producido.

Respecto a las operaciones de descargue de cascarilla y polvo se asumió el mismo factor de emisión de PM correspondiente al embarque del grano en camiones por la similitud de estos dos procedimientos. A continuación se presentan las emisiones de material particulado generadas por cada una de las dos arroceras:

a. Molino Arrocero A

Se presenta a continuación, una tabla donde se muestra el cálculo de la tasa de emisión para cada una de las Etapas del Proceso de Producción de Arroz y el total, en diferentes unidades. Cabe aclarar, que las unidades de los Factores de emisión están, según la EPA, en libras de material particulado por tonelada de arroz blanco producido.

Etapas del Proceso		Factores de emisión (Lb/Tn) MP	Capacidad de Producción (Tn/año)	Tasa de emisión (Lb/año)	Tasa de emisión (Tn/año)	Tasa de emisión (gr/s)
Acondicionamiento	Recepción	0,18	20700	3726	1,69	0,054
	Prelimpieza	0,075	20700	1552,5	0,704	0,022
	Secado	0,063	20700	1304,1	0,592	0,019
Trilla	Alimentación	0,061	20700	1262,7	0,573	0,018
	Limpieza	0,0031	20700	64,17	0,029	0,001
	Separación	0,025	20700	517,5	0,235	0,007
Disposición de Subproductos	Descargue de cascara	0,003	20700	62,1	0,028	0,001
	Almacenamiento de polvo	0,27	20700	5589	2,535	0,08
	Descargue de polvo	0,086	20700	1780,2	0,807	0,026
	Recuperación de harina	0,017	20700	351,9	0,16	0,005
			Total	16210,17	7,353	0,233

Tabla 11 – Tasas de emisión para cada etapa del proceso de producción de arroz para el Molino A

La Capacidad de Producción, en Tn/año, de arroz blanco se calcula haciendo uso de los porcentajes de representación de 1 kg de arroz paddy, como se detalla en la siguiente tabla:

Porcentajes de 1kg de arroz paddy	
Cascara de arroz	21%
Capín	1%
Afrechillo	9%
Arroz entero	57%
Medio grano	6%
Cuarto Grano	3%
Arrocín	3%

Tabla 12 – Porcentajes de 1kg de arroz paddy

La capacidad de producción, en promedio, de arroz paddy es de 30.000 tn/año, por lo que la capacidad de producción de arroz blanco es, teniendo en cuenta solo los porcentajes de arroz entero, medio grano, cuarto grano y arrocin:

$$\text{Capacidad de Producción} = 30000 * (0.57 + 0.06 + 0.03 + 0.03) = 20700 \left(\frac{tn}{año} \right)$$

Ec.3 – Capacidad de producción – Molino A

b. Molino Arrocero B

Análogamente a lo expresado en el ítem a., se presenta aquí los valores de las tasas de emisión para el molino en cuestión.

Etapas del Proceso		Factores de emisión (Lb/Tn) MP	Capacidad de Producción (Tn/año)	Tasa de emisión (Lb/año)	Tasa de emisión (Tn/año)	Tasa de emisión (gr/s)
Acondicionamiento	Recepción	0,18	13800	2484,00	1,13	0,036
	Prelimpieza	0,075	13800	1035,00	0,47	0,015
	Secado	0,063	13800	869,40	0,39	0,013
Trilla	Alimentación	0,061	13800	841,80	0,38	0,012
	Limpieza	0,0031	13800	42,78	0,02	0,001
	Separación	0,025	13800	345,00	0,16	0,005
Disposición de Subproductos	Descargue de cascara	0,003	13800	41,40	0,02	0,001
	Almacenamiento de polvo	0,27	13800	3726,00	1,69	0,054
	Descargue de polvo	0,086	13800	1186,80	0,54	0,017
	Recuperación de harina	0,017	13800	234,60	0,11	0,003
			Total	10806,78	4,90	0,155

Tabla 13 – Tasas de emisión para cada etapa del proceso de producción de arroz para el Molino B

Teniendo en cuenta la misma tabla anterior, y sabiendo que, en promedio, la producción de arroz paddy es de 20.000 tn/año, se tiene que:

$$\text{Capacidad de Producción} = 20000 * (0.57 + 0.06 + 0.03 + 0.03) = 13800 \left(\frac{tn}{año} \right)$$

Ec.4 – Capacidad de producción – Molino B

11. INTRODUCCIÓN AL SOFTWARE ISCST 3: MARCO TEÓRICO, EXPLICACIÓN DE SU ALCANCE, CONFORMADO DEL ARCHIVO DE DATOS METEOROLÓGICOS Y JUSTIFICACIÓN DE LAS OPCIONES DE MODELADO SELECCIONADAS

La dispersión de contaminantes atmosféricos es un proceso complejo para cuya evaluación es necesaria la aplicación de modelos. Los fenómenos que se desarrollan en la atmósfera no son controlables, ni reproducibles completamente en laboratorio. Por este motivo los modelos de dispersión de contaminantes son herramienta imprescindible en el estudio de la contaminación atmosférica.

Los modelos que describen la dispersión y transporte de contaminantes atmosféricos pueden ser diferenciados por distintos campos:

1.- Tipo básico de modelos existentes

a.- Físicos: como representaciones a pequeña escala, como puede ser una réplica de una determinada área y el empleo de un túnel de viento.

b.- Matemáticos: basados en sistemas conceptuales y principios físico-químicos. A su vez dentro de estos modelos se pueden distinguir dos grupos, los modelos determinísticos basados en ecuaciones matemáticas (principalmente la ecuación de advección-difusión que representa los procesos atmosféricos) y los modelos empíricos, basados en relaciones estadísticas y empíricas entre los datos relativos a la contaminación (tanto los datos de emisión de la fuente como los de calidad del aire) y otras variables que puedan tener influencia sobre ellas.

2.- Escala espacial de aplicación

a.- "Street canyon": estiman las concentraciones a nivel de calle, teniendo en cuenta las influencias derivadas de los edificios. Se trabaja en dominios espaciales de cálculo inferiores a 1 km (microescala).

b.- Escala local, el dominio habitual es de unos pocos kilómetros hasta distancias de unos 20 km de las fuentes emisoras.

c.- Local a regional, de aplicación a problemas de calidad del aire referidos al ozono, donde las reacciones fotoquímicas entre compuestos orgánicos volátiles y óxidos de nitrógeno tiene gran importancia. El dominio espacial de estudio puede estar definido entre 20 y 500 km.

d.- Regional a continental (escala sinóptica), en esta escala son de importancia los fenómenos meteorológicos de gran escala.

e.- Global, simulan el transporte de contaminantes en toda la atmósfera terrestre. Se suele aplicar a estudios relativos de efecto invernadero, destrucción de la capa de ozono.

3.- Escala temporal

a.- Modelos episódicos (short term), cubren períodos temporales desde una hora a varios días. Su objetivo es predecir situaciones de contaminación atmosférica debidas a situaciones meteorológicas adversas.

b.- Modelos climatológicos (long term), períodos de uno o varios años con objeto de estudiar la contaminación promedio en una zona.

Estos están asociados al tipo de modelo meteorológico:

c.- Modelos meteorológicos de pronóstico, proporcionan una predicción de la evolución de la atmósfera a partir de unas condiciones iniciales y de contorno y son por tanto modelos de mayor complejidad.

d.- Modelos meteorológicos de diagnóstico, proporcionan un diagnóstico de las condiciones presentes en cada instante a partir de datos registrados en estaciones meteorológicas. Los resultados de estos modelos son campos de diferentes parámetros meteorológicos obtenidos a partir de interpolaciones y/o extrapolaciones de las medidas meteorológicas disponibles

4.- Según el tratamiento de las ecuaciones de transporte

a.- Modelos gaussianos, es el más común de los modelos de contaminación atmosférica. Este modelo asume que la distribución de la concentración de contaminantes dentro de la pluma tiene una distribución gaussiana.

b.- Modelos eulerianos

c.- Modelos lagrangianos

d.- Modelos de receptores: en contraste con los modelos de dispersión, los modelos

receptor comienzan con la observación de las concentraciones que llegan al receptor

para posteriormente definir las fuentes que las provocan.

5.- Según el tratamiento de distintos procesos

a.- Modelos químicos o fotoquímicos: incluyen módulos para el cálculo de las transformaciones químicas. Estos módulos incluyen desde las reacciones químicas, más sencillas hasta la descripción de las reacciones fotoquímicas más complejas.

b.- Modelos de deposición húmeda o seca

6.- Según el fin para que se empleen

a.- Propósito de regulación: de uso para estudios de evaluación de impacto ambiental y estudios de contaminación atmosférica industrial.

b.- Apoyo a decisiones políticas: aplicable a regulación urbanística e industrial

c.- Información pública: procesos fotoquímicos y generación de ozono, definición de redes de calidad del aire y complementado de la información

d.- Investigación científica: aplicables a estudios de cambio climático, lluvia ácida.

A continuación, se describen los componentes de un modelo de calidad del aire:

Modelo de emisiones: en la mayoría de las ocasiones la información de la intensidad con la que se está emitiendo el contaminante se obtiene de medidas directas, pero en otras ocasiones hay que proceder al empleo de estimación de datos mediante la aplicación de factores de emisión o modelos de emisión.

Modelo meteorológico: son los modelos que estiman los campos de vientos y otras variables meteorológicas que aportan la información sobre el transporte de los contaminantes y el estado turbulento de la atmósfera y como estas variables afectan a la dispersión de contaminantes. Se basan en las ecuaciones fundamentales de la dinámica, gases ideales, conservación de masa, momento lineal y energía.

Modelo fotoquímico: estos modelos incorporan las ecuaciones de transformación química implicadas en la aparición de los contaminantes secundarios como el ozono troposférico, en función de diversos parámetros como la concentración de otros compuestos catalizadores de la reacción o variables meteorológicas específicas. Son también de aplicación a la contaminación ácida.

Modelo de deposición: mediante ecuaciones y parametrizaciones específicas aportan la información de cuando, cuanto y donde los contaminantes emitidos son eliminados de la atmósfera.

En cuanto a la aplicación de dichos modelos, No sólo son de aplicación en el ámbito de estudio científico sino que también son de gran utilidad en el apoyo a la gestión de la calidad del aire. La normativa actual recoge la aplicación de modelos para evaluar el estado de la calidad del aire, tal y como se recoge en los próximos apartados.

Los modelos de difusión atmosférica son herramientas imprescindibles para abordar diferentes problemas relacionados con los procesos de evaluación ambiental incluyéndose como instrumentos en los siguientes tipos de estudios:

1. En los Estudios de Impacto Ambiental de instalaciones industriales donde la contaminación atmosférica es originada por uno o varios focos de carácter puntual, lineal o superficial existentes o previstos, de tal manera que se evalúe el impacto existente y se definan distintas alternativas para identificar la de menor impacto.

2. Optimización de alturas de chimeneas para grandes y medianas instalaciones industriales. En la actualidad la definición de la altura de chimenea se establece legalmente en la Orden de 18 de octubre de 1976. Los modelos de contaminación atmosférica sirven en este caso de herramientas de contraste y corrección de las alturas teóricas determinadas mediante las ecuaciones recogidas en esta normativa.

3. Estudios de operaciones pre-operacionales o estudios de contaminación de fondo. Estos estudios son de aplicación de forma previa a la instalación de las nuevas industrias, si bien para la aplicación de los mismos hay que disponer de toda la información del entorno existente. Suelen realizarse de forma práctica mediante mediciones reales.

4. Modelos urbanos de difusión, son de aplicación para la definición de las condiciones de capacidad de carga de un centro urbano en la implantación de

nuevos polígonos industriales o implantación de industrias aisladas, determinando la afección de las mismas a la implantación. También deben de ser de aplicación en el sentido contrario, para la urbanización de nuevas áreas próximas a instalaciones industriales. Este tipo de aplicaciones de los modelos está relacionada con la planificación urbana e industrial (escala regional, local y nacional).

5. Diseño de redes de calidad de aire. Una red de vigilancia de la contaminación atmosférica tiene como misión analizar en tiempo real la concentración de contaminantes en la atmósfera. Para dimensionar y localizar las estaciones de la red de vigilancia deben tenerse en cuenta muchos aspectos entre los que se encuentran la población y la contaminación a la que ésta está expuesta. Para adecuar su ubicación pueden emplearse modelos de difusión. Asimismo, en las redes de calidad del aire que se encuentran ya en funcionamiento, se emplean como complemento, ya que permiten dar estimaciones de calidad del aire en zonas no cubiertas por estaciones de medida.

6. Predicciones de Contaminación Potencial. Programas de Prevención. Este tipo de modelizaciones se realizan en complejos sistemas informáticos en tiempo real, de tal manera que se pueda informar a la población de eventos de contaminación episódicos.

7. Estudios epidemiológicos, estudios de relación entre niveles de contaminantes en la atmósfera y el número de muertes y hospitalizaciones debidos a afecciones pulmonares.

8. Apoyo a la elaboración de legislación y reglamentación para mejorar la calidad del aire, incidiendo sobre la limitación de las emisiones de contaminantes.

9. Gestión de emergencias por contaminación urbana e industrial o por escapes accidentales de material tóxico o radiactivo que pueden provocar episodios de contaminación aguda. Estas aplicaciones se realizan con modelos específicos desarrollados para su aplicación con gases densos o radiactivos.

Independientemente del empleo de los modelos para abordar los diferentes problemas planteados anteriormente, de forma general los tipos de estudios pueden estar relacionados con los siguientes contaminantes.

- Estudios de calidad del aire urbano [PM10; CO; NOx; SO2]
- Estudios de ozono troposférico (modelos fotoquímicos) [CO; COVs; NOx]
- Estudios de lluvia ácida [NH3; NOx; SO2]
- Estudio de contaminantes relacionados con cambio climático [CO2; CH4; N2O]
- Estudios de contaminantes relacionados con eutrofización de las aguas (superficiales y subterráneas) [NH3; NOx]

Se va a realizar una ejecución práctica del modelo de dispersión de contaminantes atmosféricos ISCST3 (Industrial Source Complex Short Term en su versión 3), de la Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU (U.S. EPA).

Es el modelo más empleado para la realización de estudios aplicados a la evaluación ambiental de la calidad del aire de fuentes industriales. Incorpora un modelo para terrenos complejos, para elevaciones superiores a la altura de la chimenea, denominado COMPLEX1.

El Modelo ISC es un modelo complejo que estima las máximas concentraciones de contaminantes en cualquier punto en base a datos de emisión de ubicación de las fuentes emisoras y a información meteorológica horaria (dirección y velocidad del viento, entre otros).

Entre los modelos que permiten simular la dispersión de contaminantes en la atmósfera, el ISC3 es uno de los más utilizados. Existen dos modalidades, una de ellas es la denominada Short Term, y la otra, Long Term. Para esta práctica se va a trabajar con la versión Short Term, puesto que ésta permite hacer análisis de concentraciones horarias, diarias y anuales, mientras que el Long Term no permite realizar análisis a corto plazo.

El modelo ISCST3 provee opciones de modelación para un amplio rango de fuentes contaminantes de un complejo industrial típico. Estas corresponden a 5 tipos básicos:

1. Fuentes puntuales (chimeneas y antorchas)
2. Fuentes volumétricas;

3. Fuentes de área;
4. Fuentes abiertas (open pit).
5. Fuentes lineales (modelas como fuentes de área alargadas)

El modelo se basa en la ecuación Gaussiana en estado estacionario aplicada al penacho, y permite modelar: la chimenea como una fuente puntual; emisiones que experimenten los efectos aerodinámicos viento abajo debido a construcciones cercanas; fuentes aisladas; fuentes múltiples; pilas de acopio; cintas transportadoras; etc.

El modelo ISCST3 acepta registros de datos meteorológicos horarios para la definición de condiciones en cuanto a:

- Elevación del penacho;
- Transporte de contaminantes;
- Difusión de contaminantes, y
- Deposición de contaminantes.

Este modelo estima el valor de la concentración o deposición ambiental del contaminante, según las fuentes y los receptores definidos, para cada hora de datos meteorológicos ingresados, calculando promedios seleccionados por el usuario.

En cuanto a la deposición, el modelo permite estimar, ya sea el flujo de deposición seca, húmeda o el flujo de deposición total. Este último corresponde a la suma de los flujos de deposición seca y húmeda para la ubicación de un receptor en particular.

Es un modelo contrastado y validado por la EPA.

El esquema de trabajo para la aplicación del modelo podría determinarse como sigue:

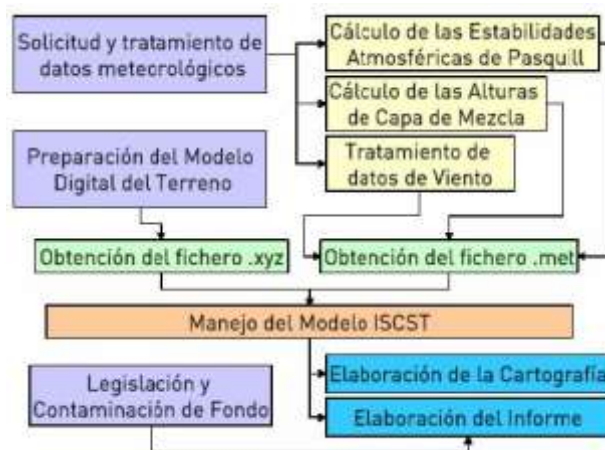


Fig. 11 – Esquema de trabajo para la aplicación del modelo

En cuanto a la información meteorológica a recopilar, es necesario extraerla de alguna estación de registro que se encuentre en la zona o cerca de ella, para luego conformar el archivo de datos meteorológicos del cual se valdrá el programa para realizar el modelado. En el caso de aplicación, la zona de estudio cuenta con una EMA instalada por la Dirección de Hidráulica de Entre Ríos.

En este caso, se utilizó la meteorología completa del año 2015.

Una forma típica de este archivo es:

Surface Station No.	Surface Station Year	Mixing Height Station Number	Mixing Height Station Year	Year, Month, Day, Hour	Random flow vector	Wind speed (m/s)	Ambient temperature (K)	Stability class	Rural mixing height, Urban mixing height (m)	Friction velocity at the application site (m/s)	Monin-Obukhov length at the application site (m)	Roughness length at the application site (m)	Precipitation code (1-18: liquid, 19 and above: frozen)	Precipitation amount (mm)
3728	88	1399	88	88 1 1 1 181.0000	2.5722	263.1	6	946.7	515.0	0.2060	35.0	0.2000	0	0.00
				88 1 1 2 196.0000	4.1155	264.3	1	943.0	515.0	0.2049	61.9	0.2000	0	0.00
				88 1 1 3 244.0000	4.1155	263.7	1	939.3	515.0	0.2047	61.7	0.2000	0	0.00
				88 1 1 4 243.0000	3.0866	262.6	6	935.7	515.0	0.2302	41.2	0.2000	0	0.00
				88 1 1 5 183.0000	1.5433	262.0	7	932.0	515.0	0.1897	35.0	0.2000	0	0.00
				88 1 1 6 242.0000	3.0866	262.0	6	928.3	515.0	0.2303	41.1	0.2000	0	0.00
				88 1 1 7 205.0000	3.6011	262.0	3	924.7	515.0	0.2572	57.7	0.2000	0	0.00
				88 1 1 8 183.0000	3.0866	261.5	4	28.0	527.0	0.2304	41.0	0.2000	0	0.00
				88 1 1 9 177.0000	5.1444	262.6	4	173.2	589.0	0.4530	-429.1	0.2000	0	0.00

Fig. 12 – Conformación del archivo de datos de entrada meteorológicas

Finalmente se deben obtener otros parámetros de turbulencia de la atmósfera que se caracteriza en base a un parámetro que se denomina clase de estabilidad, que es función de la turbulencia térmica y de la turbulencia mecánica.

Para la determinación de la clase de estabilidad existen diversos métodos: el método de Turner (Turner,1964), Radiación solar/Delta-T (USEPA,1994) basado en la radiación solar, σE (USEPA, 2000), basado en la desviación del ángulo de elevación de la dirección del viento, y σA (USEPA, 2000) que se basa en el análisis de desviación de la dirección horizontal del viento. A la vista de los datos disponibles se ha utilizado el método conocido como Turner.

El método empleado para la estimación de las clases de estabilidad para este caso práctico, partiendo de los datos de radiación solar y de la velocidad del viento obtenidos en la estación meteorológica, es una variación del desarrollado por Panofsky y Dutton (1984).

Se define inicialmente la clase de insolación, partiendo de los datos de radiación solar medidos por el radiómetro de la estación meteorológica.

RADIACIÓN SOLAR (W/m ²)	INSOLACIÓN	CLASE DE INSOLACIÓN
R > 917,10	FUERTE	4
567,95 < R ≤ 917,10	MODERADA	3
231,35 < R ≤ 567,95	DÉBIL	2
20 < R ≤ 231,35	MUY DÉBIL	1
R ≤ 20	NOCHE	0

Tabla 14 – Clase de Insolación según la Radiación Solar incidente

Una vez obtenida la clase de insolación mediante el empleo de la radiación solar, se deben cruzar con los datos de velocidad del viento, concluyendo finalmente con las clases de estabilidad para cada dato horario.

VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)	CLASE DE INSOLACION				
	4	3	2	1	0
V ≤ 0,5	1	1	2	3	6
0,5 < V ≤ 1,5	1	2	2	3	6
1,5 < V ≤ 2,5	1	2	3	4	6
2,5 < V ≤ 3,5	2	2	3	4	5
3,5 < V ≤ 4,5	2	3	3	4	5
4,5 < V ≤ 5,5	3	3	4	4	4
V > 5,5	3	4	4	4	4

Tabla 15 – Clase de Estabilidad según clase de insolación y velocidad del viento

Se pueden definir otras metodologías para la definición de las clases de estabilidad, de las cuales se adjuntan los siguientes ejemplos.

El siguiente cuadro sintetiza la definición de las clases de estabilidad para condiciones diurnas y nocturnas, según la radiación solar incidente, para todos los

rangos de velocidades de viento, debiendo disponer de los datos de la nubosidad para el período nocturno:

Velocidad del viento (m/s) a 10 m de altura	Día			Noche ⁽¹⁾	
	Radiación solar incidente			$4/8 \leq \text{Nubosidad} \leq 7/8$	Nubosidad $\leq 3/8$
	Fuerte (mayor que $50 \text{ cal/cm}^2 \text{ h}$)	Moderada (entre 25 y $50 \text{ cal/cm}^2 \text{ h}$)	Débil (menor que $25 \text{ cal/cm}^2 \text{ h}$)		
< 2	A	A - B	B	F	F
2 - 3	A - B	B	C	E	F
3 - 5	B	B - C	C	D	E
5 - 6	C	C - D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D

Tabla 16 – Clase de Estabilidad según la radiación solar incidente y la nubosidad

(1) La noche se define como el período desde una hora después de la puesta de sol, hasta una hora antes de la salida del mismo.

Para cielos totalmente cubiertos, tanto para el día como para la noche, debe asumirse clase de estabilidad D.

Existen otros métodos alternativos, Radiación solar/Delta-T, como el de radiación solar, que consideran la desviación estándar de la dirección horizontal del viento o del ángulo de elevación del viento, y el basado en los gradientes verticales de temperatura, que se formularon para ser usados cuando no existe nubosidad, y eliminan las subjetividades que introducen los observadores en la determinación de la cantidad de cielo cubierto y la altura de la base de la capa de nubes.

Wind Speed (m/s)	DAYTIME Solar Radiation (Wm^{-2})			
	>925	675 ~ 925	175 ~ 675	<175
<2.0	A	A	B	D
2.0 ~ 3.0	A	B	C	D
3.0 ~ 5.0	B	B	C	D
5.0 ~ 6.0	C	C	D	D
>6.0	C	D	D	D

Wind Speed (m/s)	NIGHTTIME Temperature Difference ($^{\circ}C$)	
	<0.0	≥ 0.0
<2.0	E	F
2.0 - 2.5	D	E
≥ 2.5	D	D

Tabla 17 – Clase de Estabilidad según el método Radiación solar/Delta-T

Otro de los parámetros a definir es la altura de la capa de mezcla. La capa de mezcla se define como la capa inferior de la atmósfera en la que el penacho puede desarrollarse y subir libremente en dirección vertical.

Para la evaluación de la altura de la capa de mezcla, se recomienda el empleo de dos procedimientos alternativos. El primero se basa en los datos correspondientes a los perfiles de temperatura en función de la altura, mientras que el segundo evalúa la altura de la capa de mezcla, en base a parámetros tales como la velocidad de fricción, el parámetro de Coriolis y la longitud de Monin-Obukhov. Para el primer procedimiento se debe contar con datos de radiosondeos de las estaciones de altura del INM. El método recomendado para la determinación de la altura de la capa de mezcla es el método de Holzworth (Holzworth, 1972; USEPA, 2000), sin embargo, sólo puede ser utilizado cuando se dispone de datos procedentes de sondeos de las capas altas de la atmósfera.

Dada la dificultad para encontrar estaciones que realicen dichos sondeos, el INM recomienda para la realización de los estudios de dispersión de contaminantes la aplicación del criterio de Klug. Este método es de muy sencilla aplicación una vez es conocida la clase de estabilidad.

CLASE DE ESTABILIDAD DE PASQUILLI - GIFFORD						
	A	B	C	D	E	F
Altura (m)	1500	1500	1000	500	200	200

Tabla 18 – Altura de capa de mezcla según el criterio de Klug

A continuación, se explica en forma detallada las opciones que tiene el programa para el proceso de modelado.

Los datos de entrada básicos se dividen en dos categorías: Archivo de datos de flujo de entrada y Archivo de datos meteorológicos. Explicado el segundo más arriba, se puede exponer que el primero conlleva en su escritura las opciones de modelado seleccionadas, ubicación de la fuente y sus parámetros, ubicación de los receptores, especificación del archivo de datos meteorológicos y opciones de información de salida. Otros tipos de datos de entrada pueden ser Archivo de elevaciones del terreno y Archivo de tasas de emisiones horarias (tasa variable).

En cuanto a las opciones de modelación, lo más preponderante son las opciones de dispersión, entre las cuales se encuentran la caída de flujo desde la cima de la chimenea por presencia de edificaciones (Downwash), dispersión por flotación inducida, ascenso final de la pluma (excepto cuando hay Downwash), una rutina para procesar promedios cuando hay calma de viento, valores predeterminados para exponentes de perfil de viento y para el gradiente térmico potencial vertical y el uso de estimados de límite superior para edificios muy bajos y extensos que influyen en la dispersión lateral de la pluma.

El software incluye un Algoritmo de muestreo denominado COMPLEX1, el cual se usa para receptores en terreno complejo, es decir, cuando la elevación del receptor excede la elevación de la fuente. Se puede hacer uso solo del terreno sencillo (ISCST), solo del terreno complejo (COMPLEX1), o combinar ambos.

Teniendo en cuenta las características de ubicación de la o las fuentes, los parámetros de dispersión se deberán elegir entre las categorías RURAL o URBANO. Esto se indica en la tarjeta CO del programa seleccionando la palabra clave correcta.

Se puede también, realizar el cálculo de los valores de concentración o deposición para una ejecución particular del programa.

El programa usado en el modo ISCST, permite obtener más de un tipo de información de salida para una sola ejecución, las mismas son la Concentración y la Deposición, la cual a su vez se puede solicitar en sus partes seca o húmeda, o en su total. Además, se puede obtener varios promedios de corto plazo (por ejemplo: 24 hs y promedios de período completo (por ejemplo: anual).

En lo que refiere a las opciones de fuente, el modelo permite modelar distintos tipos de fuente, como ya se menciono, y, además, permite modelar varios grupos de fuente en una sola ejecución, combinando previamente las contribuciones individuales de cada grupo, es decir, que se obtiene una emisión por grupo.

Las tasas de emisión pueden ser constantes o variables a lo largo del período modelado, y pueden especificarse distintas tasas para distintas fuentes.

En las opciones de receptor, se puede generar redes de receptores múltiples para una sola ejecución, así como también realizar la combinación de redes de receptores de cuadrícula cartesiana y redes de receptores de cuadrícula polar en la misma ejecución. El programa permite densificar el cuadrículado en la zona donde se espera el máximo impacto o de mayor interés. Además, presenta flexibilidad en la elección de los orígenes de las redes cartesianas y polares, pudiendo no ser coincidentes.

En cuanto a la altura del receptor, el programa considera las opciones de receptor elevado, donde modela los efectos del terreno por encima de la chimenea, y de receptor de asta, donde calcula las concentraciones por encima del nivel del piso.

Para el ISCST, en terreno sencillo, cualquier dato de elevación mayor al de la fuente se trunca.

Las opciones meteorológicas de modelado, por lo general, requieren que el archivo de datos meteorológicos este en formato .asc, el cual, como ya se menciono, contiene registros horarios de las variables meteorológicas. Se puede especificar el rango o rangos de días a procesar.

Para el cálculo de la deposición seca, hacen falta parámetros adicionales a los necesarios para el cálculo de concentraciones, como ser la Longitud de Monin – Obukhov y la Velocidad de fricción superficial. Se debe adicionar además los datos de precipitación si se quiere calcular deposición húmeda.

En cuanto a las opciones de información de salida, el programa puede proporcionar resúmenes de altos valores para cada período de promediación por cada receptor y combinación de grupos de fuentes. Por ejemplo, puede tomar 24 hs de promediación de datos meteorológicos, obteniéndose un valor de concentración para cada receptor. Repitiendo este procedimiento la cantidad de veces “n” que puede tomar promedio de 24 hs (por lo general 365 veces, dado que se carga un año de registro meteorológico), el programa obtiene “n” valores de concentraciones promedio para cada receptor. Luego, el usuario puede indicar que se informe un archivo con los valores más altos, segundos más altos, etc. También, se puede pedir que se informe una cantidad dada de valores más altos, como por ejemplo los primero 50 valores más altos.

Se puede seleccionar la opción que permita obtener tablas de valores actuales resumidas por receptor, para cada período de promediación y combinación de grupos de fuentes para cada día de datos procesados.

Tres tipos de archivos adicionales se pueden seleccionar para su posterior procesamiento: archivos .asc con los mismos resultados del archivo sin formato, archivo de coordenadas (x,y) y diseñar valores (ej: los segundos más altos) que puedan importarse a un software de graficación para generar mapas de valores de concentración y/o deposición, y archivo de todas las ocurrencias cuando un valor de concentración o deposición iguala o excede un umbral especificado, informando fecha, ubicación y valor que excede.

Abarcaremos ahora, para complementar la descripción del ISC3, el archivo de flujos de formato .INP, el cual se divide en seis rutas funcionales. Estas rutas son identificadas con una identificación (ID) de dos letras colocada al principio de cada imagen de flujos. Las rutas y el orden en que se alimentan al modelo son como sigue:

- CO - para especificar opciones generales de Control
- SO - para especificar información de fuente;
- RE - para especificar información de Receptor
- ME - para especificar información Meteorológica;
- TG - para especificar información de cuadrulado de Terreno; y
- OU - para especificar opciones de información de salida.

La ruta TG es opcional y se usa solo para implementar el algoritmo de depleción seca en terreno elevado.

Las palabras claves de modelado para las distintas rutas son las siguientes:

Ruta CO

STARTING - Indica el comienzo de los datos de entrada para la ruta; esta palabra clave es obligatoria en cada una de las rutas.

TITLEONE - Una línea de título especificado por el usuario (hasta 68 caracteres) que aparecerá en cada página del archivo de información de salida impreso (también está disponible una segunda línea opcional con la clave TITLETWO).

MODELOPT - Controla las opciones de modelado seleccionadas para una determinada ejecución a través de una serie de palabras clave secundarias.

AVERTIME - Identifica los períodos de promediación para calcularse en una determinada ejecución.

POLLUTID - Identifica el tipo de contaminante que se está modelando. Por ahora, esta opción sólo afecta los resultados si se modela SO₂ con dispersión urbana en el modo predefinido regulatorio, cuando se usa una vida media de 4 horas para modelar decaimiento exponencial.

RUNORNOT - Una palabra clave especial que le dice al modelo si debe ejecutar las ejecuciones completas del modelo o no. Si el usuario selecciona no ejecutar, entonces el archivo de preparación de flujos se procesará y se reportará cualquier error en los datos de entrada, pero no se hará ningún cálculo de dispersión.

FINISHED - Indica que el usuario ha terminado con los datos de entrada para esta ruta; esta palabra clave también es obligatoria en cada una de las otras rutas.

Cabe aclarar que las palabras claves STARTING y FINISHED son obligatorias para todas las rutas

Ruta SO

LOCATION - Identifica una identificación de fuente determinada y especifica el tipo de fuente y su ubicación.

SRCPARAM - Especifica los parámetros de fuente para una identificación de fuente determinada identificada por una tarjeta LOCATION previa.

SRCGROUP - Especifica cómo se agrupan las fuentes para determinar el tipo de cálculo. Siempre hay al menos un grupo, aunque pueda ser el grupo de TODAS las fuentes y aún si hay solo una fuente.

Ruta RE

GRIDCART- Especifica la generación de una red de receptores cartesianos

GRIDPOLR- Especifica la generación de una red de receptores polares

DISCCART- Especifica la ubicación de receptores puntuales

Ruta ME

INPUTFIL - Especifica el nombre y formato del archivo de datos de entrada meteorológicos.

ANEMHGHT - Especifica la altura de anemómetro para los datos del viento que se usan en la modelación.

SURFDATA - Especifica la información de datos meteorológicos superficiales que se usarán en el modelo.

UAIRDATA - Especifica la información de datos meteorológicos de aire superior (i.e., alturas de mezclado) que se usarán en el modelo.

STARTEND- Especifica el período de datos meteorológicos a procesar

Ruta OU

RECTABLE - Especifica la selección de altos valores por opciones de información de salida para tablas de receptor.

MAXTABLE - Especifica la selección de opciones de información de salida para tablas de valores máximos totales.

DAYTABLE - Especifica la selección de resultados impresos (por receptor) para cada día de datos procesados (esta opción puede producir archivos muy grandes y debe usarse con cautela).

POSTFILE- Especifica la selección de resultados para cada receptor, para cada período de promediación, indicando la fecha en que se realizó la promediación.

PLOTFILE- Especifica la selección de resultados de altos valores.

Como información adicional, se expone un cuadro con los límites de almacenamiento del programa.

LÍMITE CONTROLADO	ISCST3
Número de receptores	1200
Número de fuentes	300
Número de grupo de fuentes	4
Número de promedios de corto plazo	4

Tabla 19 – Límites de almacenamiento del ISCST3

12. TEORÍA DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES: MODELO GAUSSIANO

En el estudio de la dispersión de contaminantes atmosféricos, el modelo más ampliamente aceptado es el Modelo Gaussiano. Este modelo, supone que la concentración de contaminantes emitidos por una fuente puntual, la cual genera una pluma o penacho de contaminante, se distribuyen según la Distribución Normal, en dos direcciones perpendiculares entre sí, una según el eje y otra según el eje z. La imagen que se muestra a continuación ilustra esta hipótesis:

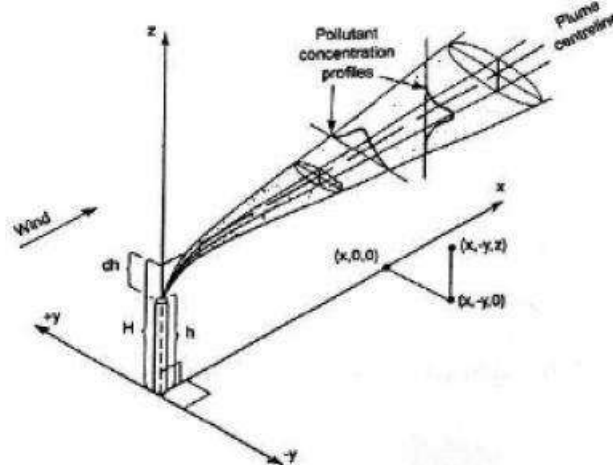


Fig. 13 – Modelo Gaussiano de dispersión de contaminantes

La Distribución Normal de probabilidades, indica cual es la probabilidad de que la variable aleatoria dada tome cierto valor, cuando se distribuye normalmente alrededor de la media. En el caso de la dispersión de contaminantes, la distribución de contaminantes normalmente distribuida a lo largo de un eje, indica cual es la probabilidad de encontrar cierto valor de concentración de contaminantes. Lógicamente, la distribución se centra a lo largo del eje de la pluma, encontrándose la mayor concentración de contaminantes en esta zona. A medida que se evalúa la concentración en distancias más alejadas del eje de la pluma, se encontrarán valores más pequeños de concentración de contaminantes. La variable aleatoria "Concentración de contaminantes en la pluma" tiene entonces mayor probabilidad de tomar valores altos que pequeños en torno al eje de la pluma.

El modelo de la columna de humo gaussiana se basa en las siguientes hipótesis:

- 1- La tasa de emisión es continua, es decir que no depende del tiempo.
- 2- Conservación de masa, aceptando que toda la masa emitida permanece en la atmósfera, no habiendo reacción ni deposición.
- 3- Estado estacionario, es decir que las condiciones meteorológicas persisten sin cambios en el tiempo, al menos durante el período en que viaja la partícula desde la fuente al receptor.
- 4- Distribuciones de concentración vertical y lateral, asumiendo que los perfiles de concentración promediados en el tiempo (una hora) se hallan bien representados por una distribución normal.
- 5- La columna de humo emitida por la chimenea se eleva hasta cierta altura efectiva, H , que es la suma de la altura de la chimenea, h , más el ascenso, dh , debido al momento inicial del humo así como a la diferencia de temperaturas entre el gas saliente y el aire que le rodea.

6- A partir de H, la columna de humo se mueve horizontalmente en la dirección del viento (dirección x) con velocidad u y se dispersa en las direcciones perpendiculares a éste, y y z. (y = horizontal, z = vertical). La dispersión en el plano y-z se debe principalmente a la turbulencia atmosférica y puede calcularse como una distribución gaussiana, que tiene la siguiente expresión:

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} e^{\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2} + \frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right)}$$

Ec.5 – Distribución Gaussiana de dispersión de contaminantes para fuente puntual

Donde:

- C(x,y,z) es la concentración.
- Q es la cantidad de contaminante emitido por unidad de tiempo (g*s-1).
- u es la velocidad del viento.
- σ_y y σ_z son coeficientes de dispersión turbulenta que dependen de la clase de estabilidad y de la distancia al foco en la dirección del viento, x.

En la ecuación anterior el suelo se trata como una superficie plana que no absorbe contaminante.

Los coeficientes de dispersión vertical se calculan según fórmulas empíricas. Una de ellas son las dadas por Griffiths. Estas fórmulas suelen estar implementadas en los programas informáticos de modelos de dispersión que se utilizan habitualmente y son función de la clase de estabilidad atmosférica.

Para el caso de que se desee modelar una fuente areal, como es el caso del presente estudio, se puede realizar la suposición que la misma es una sucesión continua de fuentes puntuales, para lo cual, la ecuación anterior sufre la siguiente modificación:

$$C(x, y, z) = \frac{Q_A}{2\pi u} \left[\int \frac{1}{\sigma_y \sigma_z} \left(\int e^{-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}} dy \right) dx \right]$$

Ec.6 – Distribución Gaussiana de dispersión de contaminantes para fuente areal

13. CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN DE FONDO O CONCENTRACIÓN BASE GENERADA POR EL PARQUE AUTOMOTOR

Para el cálculo de la concentración base generada por el parque automotor existente en la zona de estudio, se hizo uso del software mencionado anteriormente.

Se explica que la primera tarjeta que se debe cargar al programa es la CO, que aquí se expone como:

```
CO STARTING
  TITLEONE Parque automotor - Molinos A y B
  TITLETWO Receptores: Esc Prim - Esc Sec - Centro de salud
  MODELOPT DFAULT CONC RURAL
  AVERTIME 24 PERIOD
  POLLUTID PM
  RUNORNOT RUN
  ERRORFILE DEBUG
CO FINISHED
```

Fig. 14 – Tarjeta CO del software ISCST3 – Concentración base

Se explica a continuación la elección de las palabras claves.

- DFAULT, se utiliza para ejecutar las opciones regulatorias predefinidas.
- CONC, indica que se calculan valores de concentración.
- RURAL, utilizada para hacer uso de parámetros de dispersión rural.
- 24, indica que se utilizan promedios meteorológicos de esa longitud.
- PERIOD, indica que se debe promediar todo el registro meteorológico dado.
- PM, indica que se debe modelar material particulado.
- RUN, indica que se debe correr el programa. De haberse seleccionado NOT, el programa revisa el código antes de ejecutarse e informa si hay algún desperfecto.
 - DEBUG, es una palabra clave que genera un archivo resumen de los errores que se producen.

El programa permite modelar fuentes de línea como si fueran fuentes de área muy alargadas. Las fuentes de línea son las que se adoptan para modelar la contaminación que produce un vehículo en circulación.

Dada la gran cantidad y variedad de vehículos que presenta la fuente en cuestión, se optó por calcular las áreas que encierran cada una de las calles del entramado urbano, por las cuales se produce la mayor cantidad de movimiento vehicular, y simular que por ellas circula un vehículo que emite una tasa promedio de contaminantes, es decir, se supuso que existe un vehículo de condiciones técnicas promedio respecto a la flota vehicular existente. Dicha circulación se la supuso simultánea en todas las calles a la vez, para representar el tránsito vehicular normal diario.

A continuación, se muestra la disposición de las áreas emisoras modeladas.

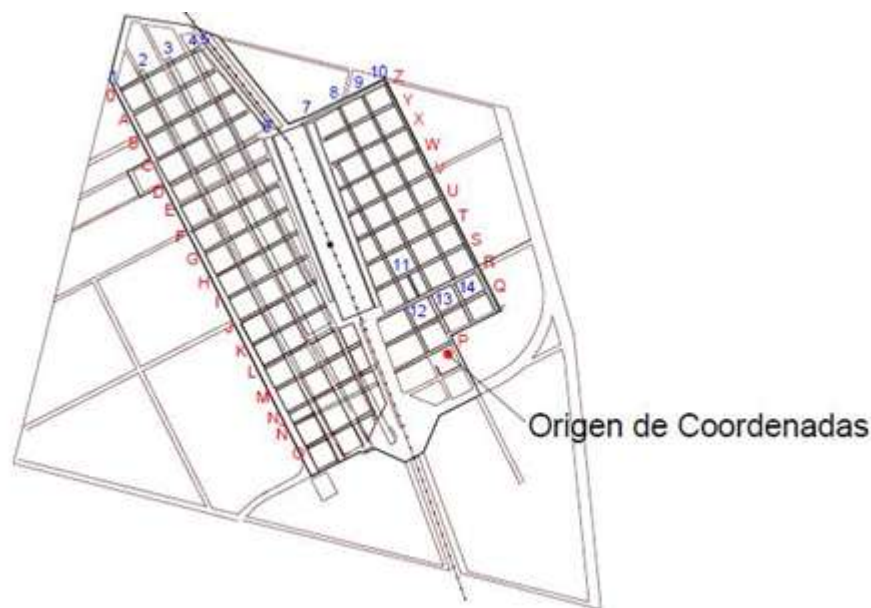


Fig. 15 – Disposición de las áreas emisoras modeladas para la Concentración Base

Se identificó a cada una de ellas con números y letras, usando los primeros para las calles en una orientación (del 1 al 14) y los segundos y un número para las calles en la orientación perpendicular (0 y de la A a la Z).

La tasa de emisión promedio adoptada es la suma de las tasas promedio para las dos clasificaciones de vehículos dada anteriormente, en resumen:

Tasa promedio de emisión de autos + camionetas (gr/s)	0,047
Tasa promedio de emisión de camiones (gr/s)	0,027
Tasa promedio total (gr/s)	0,074

Tabla 20 – Tasa de emisión promedio para el parque automotor

Cada área de emisión debe estar localizada por medio de coordenadas cartesianas respecto a un origen predefinido. En el caso en estudio, el origen de coordenadas se lo definió en un vértice de una de las áreas de emisión del Molino Arrocero A. El mismo, se representa esquemáticamente con un punto rojo, mostrado en la imagen anterior. La tasa de emisión para las fuentes del tipo areal se deben insertar en el programa en unidades de (gr/sm²). La tabla siguiente, resume las áreas de cada una de las fuentes emisoras y la tasa de emisión específica para cada una de ellas.

Fuente	Área (M2)	Tasa (gr/sm ²)
1	54825	1,3E-06
2	54825	1,3E-06
3	54825	1,3E-06
4	54825	1,3E-06
5	9550	7,7E-06
6	18860	3,9E-06
7	24300	3,0E-06
8	9135	8,1E-06
9	9135	8,1E-06
10	11325	6,5E-06
11	765	9,7E-05
12	2285	3,2E-05
13	2585	2,9E-05
14	2585	2,9E-05
0	4660	1,6E-05
A	4660	1,6E-05
B	5155	1,4E-05
C	5155	1,4E-05
D	5155	1,4E-05
E	5155	1,4E-05
F	5155	1,4E-05
G	4785	1,5E-05
H	4690	1,6E-05
I	4640	1,6E-05
J	4430	1,7E-05
K	4255	1,7E-05
L	4110	1,8E-05
M	5040	1,5E-05
N	5155	1,4E-05
Ñ	4830	1,5E-05
O	3960	1,9E-05

P	3340	2,2E-05
Q	5880	1,3E-05
R	5615	1,3E-05
S	5155	1,4E-05
T	4950	1,5E-05
U	4810	1,5E-05
V	4705	1,6E-05
W	4545	1,6E-05
X	4240	1,7E-05
Y	3990	1,9E-05
Z	4870	1,5E-05

Tabla 21 – Tasa de emisión específica para cada área emisora

Los parámetros que el programa de modelación requiere, tanto de las áreas emisoras como de las tasas de emisión por área, para este cálculo de concentración base, se muestran a continuación, cargados a la tarjeta de entrada SO:

```

SO STARTING
LOCATION ORIGEN AREA 0.0 0.0 0.0 SRCPARAM ORIGEN 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
LOCATION AREA01 AREA -530.0 -480.0 0.0 SRCPARAM AREA01 1.3E-6 0.0 5483.0 10.0 64.0
LOCATION AREA02 AREA -650.0 -540.0 0.0 SRCPARAM AREA02 1.3E-6 0.0 5483.0 10.0 64.0
LOCATION AREA03 AREA -770.0 -600.0 0.0 SRCPARAM AREA03 1.3E-6 0.0 5483.0 10.0 64.0
LOCATION AREA04 AREA -890.0 -660.0 0.0 SRCPARAM AREA04 1.3E-6 0.0 5483.0 10.0 64.0
LOCATION AREA05 AREA -730.0 1030.0 0.0 SRCPARAM AREA05 7.7E-6 0.0 955.0 10.0 55.0
LOCATION AREA06 AREA -450.0 275.0 0.0 SRCPARAM AREA06 3.9E-6 0.0 1886.0 10.0 70.0
LOCATION AREA07 AREA -255.0 255.0 0.0 SRCPARAM AREA07 3.0E-6 0.0 2430.0 10.0 70.0
LOCATION AREA08 AREA -20.0 325.0 0.0 SRCPARAM AREA08 8.1E-6 0.0 914.0 10.0 64.0
LOCATION AREA09 AREA 83.0 725.0 0.0 SRCPARAM AREA09 8.1E-6 0.0 914.0 10.0 64.0
LOCATION AREA10 AREA 275.0 235.0 0.0 SRCPARAM AREA10 6.5E-6 0.0 1133.0 10.0 64.0
LOCATION AREA11 AREA -70.0 300.0 0.0 SRCPARAM AREA11 9.7E-5 0.0 77.0 10.0 64.0
LOCATION AREA12 AREA -32.0 55.0 0.0 SRCPARAM AREA12 3.2E-5 0.0 229.0 10.0 64.0
LOCATION AREA13 AREA 55.0 138.0 0.0 SRCPARAM AREA13 2.9E-5 0.0 259.0 10.0 64.0
LOCATION AREA14 AREA 160.0 188.0 0.0 SRCPARAM AREA14 2.9E-5 0.0 259.0 10.0 64.0
LOCATION AREA0 AREA -1360.0 1193.0 0.0 SRCPARAM AREA0 1.6E-5 0.0 10.0 466.0 64.0
LOCATION AREA00 AREA -1300.0 1100.0 0.0 SRCPARAM AREA00 1.6E-5 0.0 10.0 466.0 64.0
LOCATION AREA01 AREA -1250.0 988.0 0.0 SRCPARAM AREA01 1.4E-5 0.0 10.0 516.0 64.0
LOCATION AREA02 AREA -1200.0 892.0 0.0 SRCPARAM AREA02 1.4E-5 0.0 10.0 516.0 64.0
LOCATION AREA03 AREA -1150.0 783.0 0.0 SRCPARAM AREA03 1.4E-5 0.0 10.0 516.0 64.0
LOCATION AREA04 AREA -1100.0 690.0 0.0 SRCPARAM AREA04 1.4E-5 0.0 10.0 516.0 64.0
LOCATION AREA05 AREA -1050.0 580.0 0.0 SRCPARAM AREA05 1.5E-5 0.0 10.0 479.0 64.0
LOCATION AREA06 AREA -990.0 490.0 0.0 SRCPARAM AREA06 1.6E-5 0.0 10.0 469.0 64.0
LOCATION AREA07 AREA -933.0 388.0 0.0 SRCPARAM AREA07 1.6E-5 0.0 10.0 464.0 64.0
LOCATION AREA08 AREA -887.0 290.0 0.0 SRCPARAM AREA08 1.7E-5 0.0 10.0 443.0 64.0
LOCATION AREA09 AREA -833.0 190.0 0.0 SRCPARAM AREA09 1.7E-5 0.0 10.0 426.0 64.0
LOCATION AREA10 AREA -780.0 88.0 0.0 SRCPARAM AREA10 1.8E-5 0.0 10.0 411.0 64.0
LOCATION AREA11 AREA -730.0 -11.0 0.0 SRCPARAM AREA11 1.5E-5 0.0 10.0 504.0 64.0
LOCATION AREA12 AREA -682.0 -107.0 0.0 SRCPARAM AREA12 1.4E-4 0.0 10.0 516.0 64.0
LOCATION AREA13 AREA -627.0 -210.0 0.0 SRCPARAM AREA13 1.5E-5 0.0 10.0 483.0 64.0
LOCATION AREA14 AREA -602.0 -258.0 0.0 SRCPARAM AREA14 1.9E-5 0.0 10.0 396.0 64.0
LOCATION AREA15 AREA -545.0 -360.0 0.0 SRCPARAM AREA15 2.2E-5 0.0 10.0 334.0 64.0
LOCATION AREA16 AREA -170.0 -35.0 0.0 SRCPARAM AREA16 1.3E-5 0.0 10.0 588.0 64.0
LOCATION AREA17 AREA -207.0 82.0 0.0 SRCPARAM AREA17 1.3E-5 0.0 10.0 562.0 64.0
LOCATION AREA18 AREA -240.0 195.0 0.0 SRCPARAM AREA18 1.4E-5 0.0 10.0 516.0 64.0
LOCATION AREA19 AREA -245.0 325.0 0.0 SRCPARAM AREA19 1.5E-5 0.0 10.0 495.0 64.0
LOCATION AREA20 AREA -285.0 235.0 0.0 SRCPARAM AREA20 1.5E-5 0.0 10.0 481.0 64.0
LOCATION AREA21 AREA -325.0 540.0 0.0 SRCPARAM AREA21 1.6E-5 0.0 10.0 471.0 64.0
LOCATION AREA22 AREA -368.0 645.0 0.0 SRCPARAM AREA22 1.6E-5 0.0 10.0 455.0 64.0
LOCATION AREA23 AREA -405.0 760.0 0.0 SRCPARAM AREA23 1.7E-5 0.0 10.0 424.0 64.0
LOCATION AREA24 AREA -438.0 870.0 0.0 SRCPARAM AREA24 1.9E-5 0.0 10.0 399.0 64.0
LOCATION AREA25 AREA -470.0 978.0 0.0 SRCPARAM AREA25 1.5E-5 0.0 10.0 487.0 64.0
LOCATION AREA26 AREA -575.0 1045.0 0.0 SRCPARAM AREA26 1.5E-5 0.0 10.0 487.0 64.0
SO FINISHED
    
```

Fig. 16 – Tarjeta SO del software ISCST3 - Concentración base

En cuanto a los puntos donde se desea calcular la concentración de PM, se establecieron dos grillas de receptores, una grilla en coordenadas cartesianas y la otra en coordenadas polares, optándose por graficar la segunda, dada su mayor alcance. El modelado de la grilla de receptores en coordenadas cartesianas, se realizó con el fin de poder obtener una gráfica distinta que permite presentar los resultados de otro modo. Dicho esto, cabe aclarar que los valores de concentración de PM determinados son independientes del sistema de coordenadas que el usuario escoja.

Además, se modelaron las concentraciones de PM para tres receptores discretos de interés, los cuales son la Escuela Primaria, la Escuela Secundaria y el Centro de Salud del pueblo. La elección de estos puntos como prioritarios, se justifica, para los dos primeros, por la gran cantidad de personas que acuden a ellos diariamente, sobre todo niños y adolescentes y, para el tercero, por ser un punto de sanidad humana donde, lógicamente, no deberían existir grados de contaminación atmosférica tales que perjudiquen la calidad del aire que se respira. La tarjeta RE para este caso en particular es:

```

RE STARTING
GRIDCART REDRECOI STA
XPNTS -800.0 -750.0 -700.0 -650.0 -600.0 -550.0 -500.0 -450.0 -400.0 -350.0 -300.0 -250.0 -200.0
YPNTS -300.0 -250.0 -200.0 -150.0 -100.0 -50.0 50.0 100.0 150.0 200.0 250.0 300.0 350.0 400.0
END
GRIDPOLR REDPOLOI STA
ORIG 0.0 0.0
DIST 200.0 400.0 600.0 800.0 1000.0 1200.0 1400.0 1600.0 1800.0 2000.0 2200.0
GOIR 18 20.0 20.0
END
DISCCART -400.0 790.0
DISCCART 180.0 1000.0
DISCCART -675.0 1300.0
RE FINISHED

```

Fig. 17 – Tarjeta RE del software ISCST3 - Concentración base

El significado de las palabras claves aquí usadas es:

- XPNTS, indica la abscisa del vértice superior izquierdo de cada una de las áreas de emisión, respecto al origen de coordenadas predefinido.
- YPNTS, indica la ordenada del vértice superior izquierdo de cada una de las áreas de emisión, respecto al origen de coordenadas predefinido.
- ORIG, indica la ubicación del origen de coordenadas de la red polar que, en este caso, coincide con el origen de la red cartesiana.
- DIST, indica el radio de los distintos círculos que son concéntricos al origen.

- GDIR, establece la cantidad de divisiones, o direcciones, del círculo de 360° (en este caso 18), dirección inicial del sistema polar (en este caso 20°) e incremento de las direcciones radiales (en este caso 20°).

El software, como ya se expuso, hace uso de la meteorología del lugar para calcular los valores de concentración de PM. La tarjeta de entrada para tales cálculos, se indica a continuación:

```
ME STARTING
INPUTFIL 2015.asc
ANEMHGHT 3
SURFDATA 11111 2015 LOSCHARRUAS
UAIRDATA 11111 2015 LOSCHARRUAS
STARTEND 15 01 01 15 12 31
ME FINISHED
```

Fig. 18 – Tarjeta ME del software ISCST3 - Concentración base

Finalmente, se debe indicar al modelo las opciones de salida, es decir, los valores que se quieren obtener. Esto se muestra en la siguiente tarjeta escrita para este modelado:

```
OU STARTING
RECTABLE ALLAVE FIRST-THIRD
POSTFILE 24 ALL PLOT POST24.FIL
PLOTFILE 24 ALL 1ST PLOT1ST.FIL
PLOTFILE 24 ALL 2ND PLOT2ND.FIL
PLOTFILE 24 ALL 3RD PLOT3RD.FIL
OU FINISHED
```

Fig. 19 – Tarjeta OU del software ISCST3 - Concentración base

Aquí las palabras claves “POST24.FIL”, “PLOT1ST.FIL”, “PLOT2ND.FIL” y “PLOT3RD.FIL” generaran archivos de:

- POST24.FIL: Archivo de concentraciones para cada receptor por cada 24 hs de meteorología promediada.
- PLOT1ST.FIL: Archivo de los primeros valores más altos que el programa modela por cada 24 hs de datos meteorológicos.
- PLOT2ND.FIL: Archivo de los terceros valores más altos que el programa modela por cada 24 hs de datos meteorológicos.

Cabe aclarar que los primeros valores más alto que se producen para cada punto de receptor considerado son, por lo general, muy improbables que ocurran. Por ello, el autor considera que tomar los segundos valores más altos para cada punto receptor es un criterio más acertado a la hora de tomar decisiones respecto a la mitigación del impacto de PM en la atmósfera.

La distribución de concentraciones promedio para un período modelado de un año y para las áreas de emisión consideras, tomando una grilla de receptores en coordenadas polares, es:

Concentraciones promedio de PM10 base ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)											
Grados	Radio (m)										
	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200
20°	42,42	93,98	28,20	6,11	3,88	3,12	2,40	2,12	1,79	1,69	1,60
40°	33,51	92,68	6,48	3,50	2,57	2,31	2,32	2,09	1,85	1,71	1,60
60°	32,55	70,85	5,51	2,86	1,61	1,22	1,05	0,89	0,80	0,73	0,65
80°	23,17	20,53	3,36	1,70	1,12	0,93	0,84	0,74	0,61	0,48	0,40
100°	19,57	9,08	3,73	2,26	1,61	1,11	0,76	0,57	0,45	0,36	0,30
120°	26,73	6,83	8,40	2,72	1,38	0,94	0,76	0,65	0,56	0,47	0,40
140°	10,28	8,92	8,61	2,25	1,43	1,15	0,93	0,66	0,59	0,53	0,50
160°	9,91	4,71	2,99	2,23	1,85	1,53	1,25	1,03	0,82	0,72	0,57
180°	8,61	9,21	4,59	4,16	6,75	2,96	2,56	2,97	2,70	1,98	2,90
200°	11,20	6,24	5,46	3,67	3,38	2,78	2,37	1,72	1,10	0,81	0,65
220°	13,08	12,80	5,77	4,27	3,12	3,37	1,16	0,85	0,60	0,45	0,35
240°	21,51	26,99	21,78	4,53	2,88	1,48	0,87	0,58	0,44	0,39	0,34
260°	64,31	161,11	59,79	11,01	2,70	1,62	1,05	0,81	0,67	0,52	0,43
280°	113,40	57,94	40,82	22,52	9,39	5,08	3,87	3,19	2,50	1,79	1,18
300°	104,10	31,75	32,34	44,77	24,35	30,82	8,96	6,86	5,39	4,28	3,32
320°	39,66	32,18	21,62	26,06	39,79	24,56	28,93	94,49	19,13	9,70	6,43
340°	41,29	116,81	23,17	25,19	37,34	79,36	12,60	8,63	6,40	4,98	4,22
360°	48,10	42,35	18,77	22,55	15,56	8,29	5,63	4,14	3,35	2,81	2,48

Tabla 22 – Concentraciones promedio de PM10 base

La gráfica que resume los valores de esta tabla, para cada dirección polar seleccionada es:

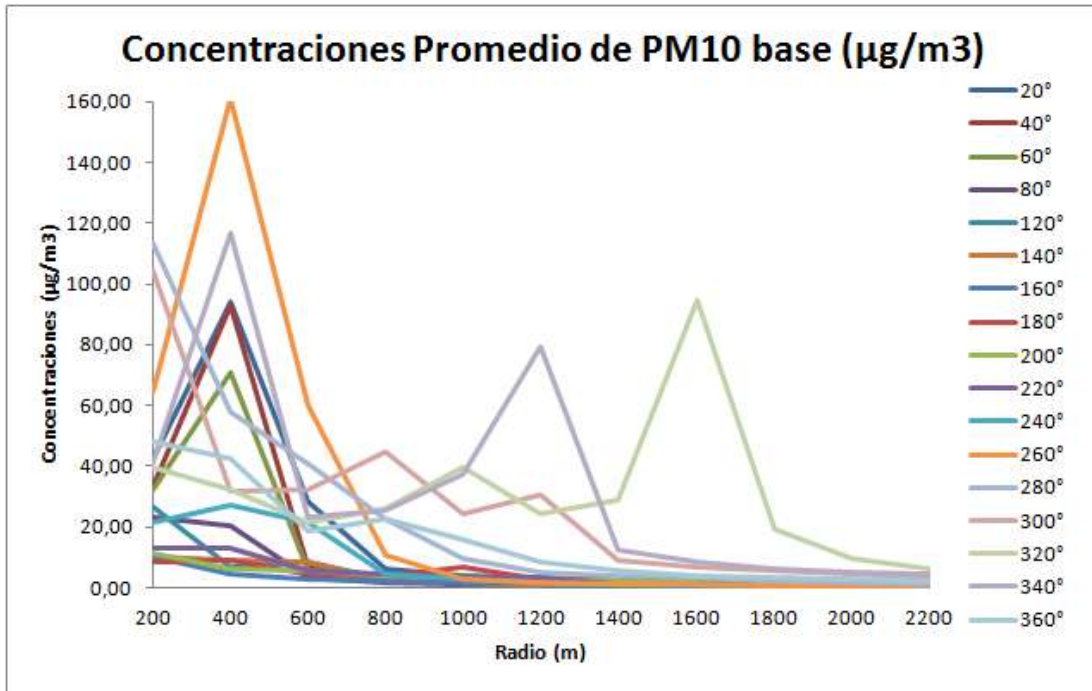


Fig. 20 – Concentraciones promedio de PM10 base

Una distribución espacial en forma de Mapa de Calor de las concentraciones calculadas, es la siguiente:

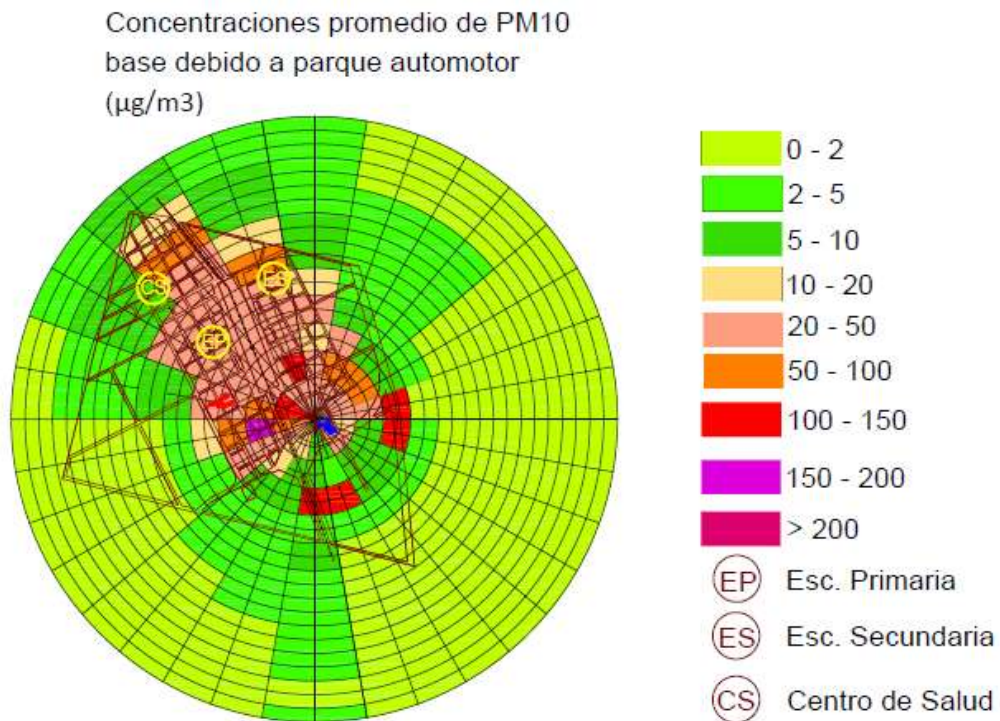


Fig. 21 – Concentraciones promedio de PM10 base – Distribución espacial

De forma análoga para los receptores discretos considerados, la concentración promedio anual para el período modelado se observa en la siguiente imagen:

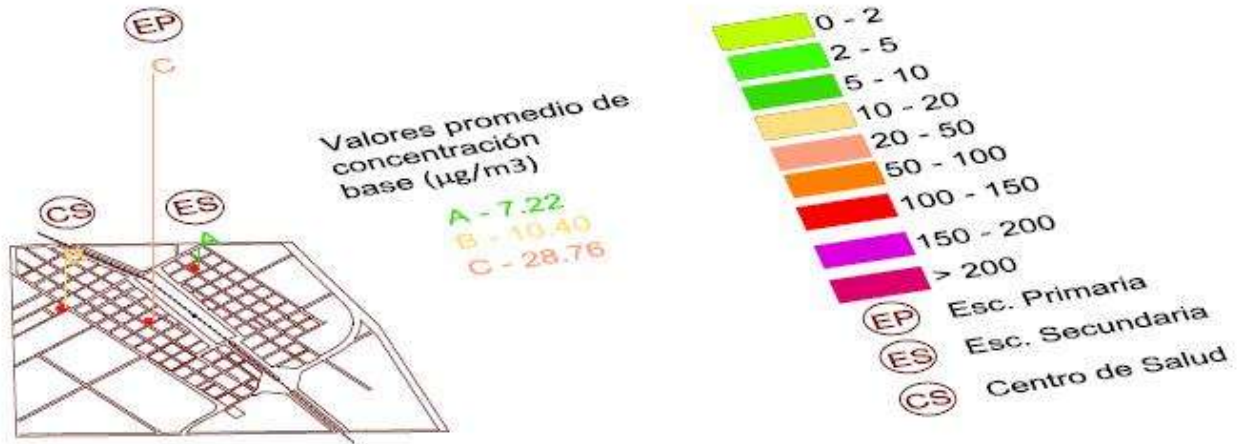


Fig. 22 – Concentraciones promedio de PM10 base – Receptores discretos

La distribución de contaminantes se puede entender mejor si se evalúa la frecuencia de las distintas direcciones del viento a lo largo del año meteorológico elegido para el modelado. Se muestra la tabla de frecuencias y su gráfica.

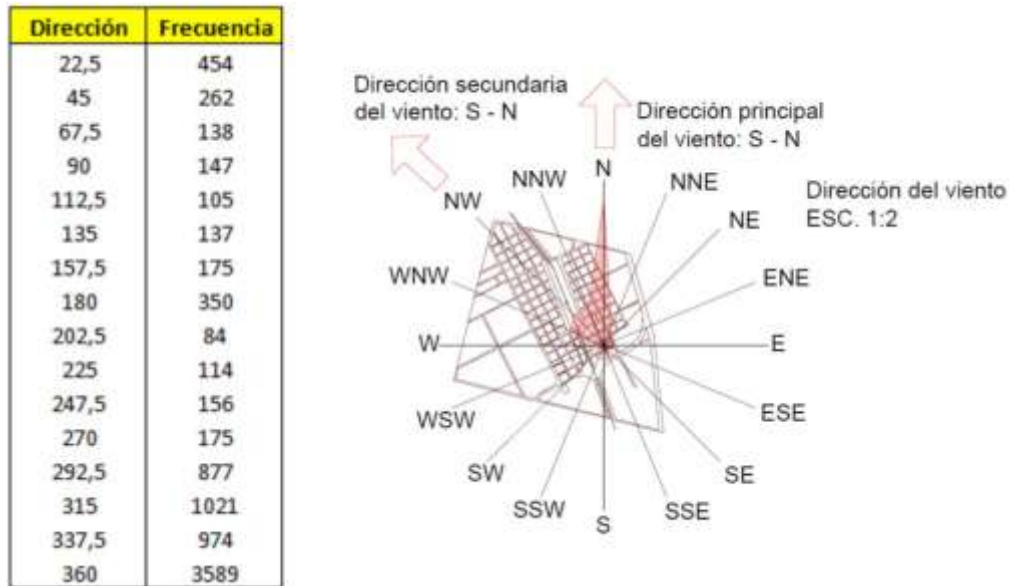


Fig. 23 – Frecuencia de ocurrencia de las distintas direcciones de viento (Rosa de los vientos)

Se observa claramente que la mayor frecuencia de ocurrencia de la dirección del viento es de S a N y la segunda dirección en importancia es de SE a NW. Esto explica el arrastre, por parte del viento, del contaminante hacia la planta urbana.

En la sección de Anexos, se presenta los archivos que se generaron para ejecutar el modelado (archivo de formato .INP), como así también los archivos necesarios para que el programa pueda modelar (archivo de datos meteorológicos de formato .asc) y los archivos de salida (archivos de formato .OUT y de formato .FIL).

14. CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN DEBIDO A LOS MOLINOS ARROCEROS EXISTENTES

Para la modelación de la concentración de PM generada por los molinos arroceros se hizo uso de la misma meteorología.

La tarjeta de entrada CO es la misma que se especifico para la determinación de la concentración base.

La tarjeta de entrada SO, es la que se muestra a continuación:

```

SO STARTING
LOCATION MOLINA01 AREA 0.0 0.0 0.0
LOCATION MOLINA02 AREA 31.0 68.0 0.0
LOCATION MOLINA03 AREA 41.0 5.0 0.0
LOCATION MOLINA04 AREA 48.0 20.0 0.0
LOCATION MOLINA05 AREA 68.0 62.0 0.0
LOCATION MOLINA06 AREA 73.0 45.0 0.0
LOCATION MOLINA07 AREA 88.0 37.0 0.0
LOCATION MOLINA08 AREA 107.0 45.0 0.0
LOCATION MOLINA09 AREA 107.0 68.0 0.0
LOCATION MOLINA10 AREA 126.0 88.0 0.0
LOCATION MOLINB01 AREA -700.0 150.0 0.0
LOCATION MOLINB02 AREA -680.0 172.0 0.0
LOCATION MOLINB03 AREA -673.0 200.0 0.0
LOCATION MOLINB04 AREA -713.0 279.0 0.0
LOCATION MOLINB05 AREA -710.0 266.0 0.0
LOCATION MOLINB06 AREA -685.0 293.0 0.0
LOCATION MOLINB07 AREA -643.0 293.0 0.0
SRCPARAM MOLINA01 1.3E-4 0.0 20.0 88.0 64.0
SRCPARAM MOLINA02 5.1E-4 0.0 23.0 20.0 64.0
SRCPARAM MOLINA03 5.5E-4 0.0 28.0 15.0 64.0
SRCPARAM MOLINA04 8.1E-4 0.0 16.0 18.0 64.0
SRCPARAM MOLINA05 2.3E-4 0.0 39.0 26.0 64.0
SRCPARAM MOLINA06 4.0E-4 0.0 34.0 17.0 64.0
SRCPARAM MOLINA07 1.5E-4 0.0 19.0 8.0 64.0
SRCPARAM MOLINA08 2.9E-4 0.0 40.0 20.0 64.0
SRCPARAM MOLINA09 2.9E-4 0.0 40.0 20.0 64.0
SRCPARAM MOLINA10 9.2E-4 0.0 21.0 12.0 64.0
SRCPARAM MOLINB01 1.2E-4 0.0 20.0 67.0 64.0
SRCPARAM MOLINB02 8.2E-4 0.0 7.0 27.0 64.0
SRCPARAM MOLINB03 2.3E-4 0.0 30.0 23.0 64.0
SRCPARAM MOLINB04 1.9E-4 0.0 35.0 23.0 64.0
SRCPARAM MOLINB05 4.0E-4 0.0 30.0 13.0 64.0
SRCPARAM MOLINB06 3.9E-4 0.0 33.0 12.0 64.0
SRCPARAM MOLINB07 7.9E-4 0.0 22.0 90.0 64.0
SRCGROUP ALL
SO FINISHED

```

Fig. 24 – Tarjeta SO del software ISCST3 - Concentración debida a Molinos Arroceros

La justificación de los valores cargados a esta tarjeta se realiza como sigue:

Para el Molino Arrocero A, las áreas que emiten PM son las que se muestran en la siguiente planta simplificada de las instalaciones del mismo.

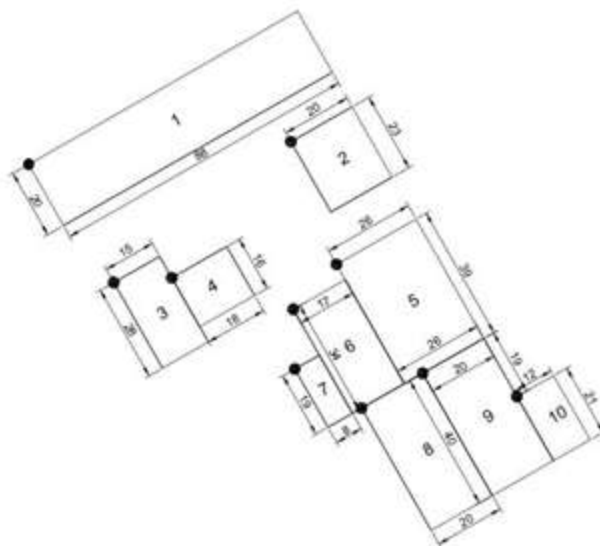


Fig. 25 – Disposición de las áreas emisoras modeladas para el Molino Arrocero A

Los valores de las áreas, sus dimensiones y las tasas específicas de cada una de ellas se detallan en la siguiente tabla:

Molino Arrocero A				
Área	Longitud (m)	Ancho (m)	Superficie (m ²)	Tasa(gr/sm ²)
1	20	88	1760	1,3E-04
2	23	20	460	5,1E-04
3	28	15	420	5,5E-04
4	16	18	288	8,1E-04
5	39	26	1014	2,3E-04
6	34	17	578	4,0E-04
7	19	8	152	1,5E-03
8	40	20	800	2,9E-04
9	40	20	800	2,9E-04
10	21	12	252	9,2E-04

Tabla 23 – Tasas específicas de emisión para el Molino Arrocero A

Lo propio se expone para el Molino Arrocero B:

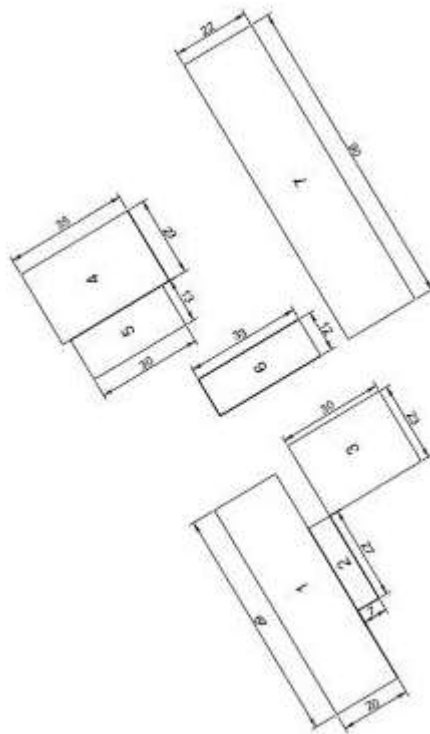


Fig. 26 – Disposición de las áreas emisoras modeladas para el Molino Arrocero B

Los valores de las áreas, sus dimensiones y las tasas específicas de cada una de ellas se detallan en la siguiente tabla:

Molino Arrocero B				
Área	Longitud (m)	Ancho (m)	Superficie (m ²)	Tasa(gr/sm ²)
1	20	67	1340	1,2E-04
2	7	27	189	8,2E-04
3	30	23	690	2,3E-04
4	35	23	805	1,9E-04
5	30	13	390	4,0E-04
6	33	12	396	3,9E-04
7	22	90	1980	7,9E-05

Tabla 24 – Tasas específicas de emisión para el Molino Arrocero B

El ingreso de las tarjetas RE, ME y OU son las mismas que para el modelado de las concentraciones base.

La distribución de concentraciones promedio para un período modelado de un año y para las áreas de emisión consideradas, tomando una grilla de receptores en coordenadas polares, es:

Concentraciones promedio de PM10 debido a los molinos ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)											
Grados	Radio (m)										
	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200
20°	157,53	38,32	4,26	2,20	1,37	1,96	5,22	4,84	1,94	1,04	0,80
40°	266,38	18,60	1,30	1,22	2,64	2,08	0,54	0,28	0,21	0,18	0,16
60°	139,74	5,65	5,20	0,79	0,18	0,10	0,08	0,08	0,11	0,15	0,22
80°	60,980	12,92	2,36	1,08	1,16	1,48	1,82	1,88	1,62	1,23	0,86
100°	32,97	7,96	2,12	0,46	0,16	0,07	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01
120°	24,17	8,34	2,79	0,76	0,40	0,25	0,17	0,12	0,09	0,07	0,05
140°	37,18	5,46	1,20	0,33	0,36	0,47	0,58	0,67	0,73	0,75	0,74
160°	21,39	9,69	2,44	1,35	0,52	0,27	0,22	0,20	0,19	0,19	0,18
180°	7,83	3,63	1,97	1,92	2,62	2,93	2,48	1,81	1,41	1,22	1,11
200°	6,72	3,20	3,59	3,10	1,34	1,16	1,46	2,33	2,76	2,15	1,28
220°	11,60	6,66	5,53	2,76	5,45	1,22	0,49	0,38	0,43	0,62	0,75
240°	12,43	5,20	2,39	4,99	0,85	1,22	0,15	0,09	0,16	0,37	0,69
260°	8,67	7,31	12,72	5,37	1,73	1,73	0,11	0,27	0,63	0,94	1,14
280°	9,40	14,14	40,69	16,85	6,96	1,16	1,69	2,06	1,55	0,91	0,52
300°	48,65	45,17	154,17	207,16	32,56	22,96	10,37	3,72	1,78	1,10	0,77
320°	79,40	46,82	33,25	35,14	39,97	17,00	25,84	19,82	13,97	7,66	4,33
340°	101,92	22,08	13,86	14,07	27,30	11,69	10,92	15,64	17,72	13,34	8,73
360°	109,05	31,94	8,07	8,66	8,40	5,06	5,40	8,04	9,10	6,30	4,37

Tabla 25 – Concentraciones promedio de PM10 debido a los Molinos Arroceros

La gráfica que resume los valores de esta tabla, para cada dirección polar seleccionada es:

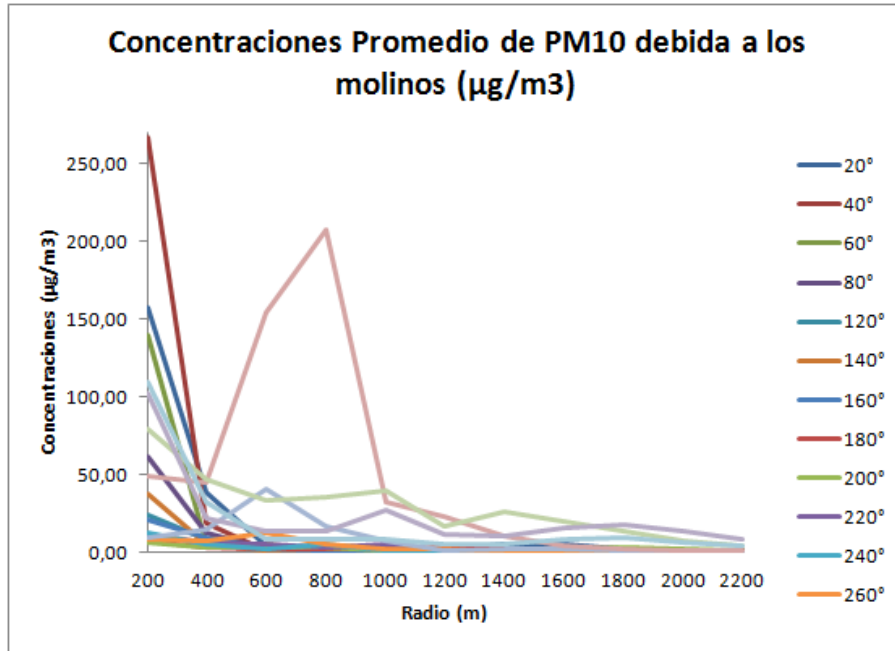


Fig. 27 – Concentraciones promedio de PM10 debido a los Molinos Arroceros

Una distribución espacial en forma de Mapa de Calor de las concentraciones calculadas, es la siguiente:

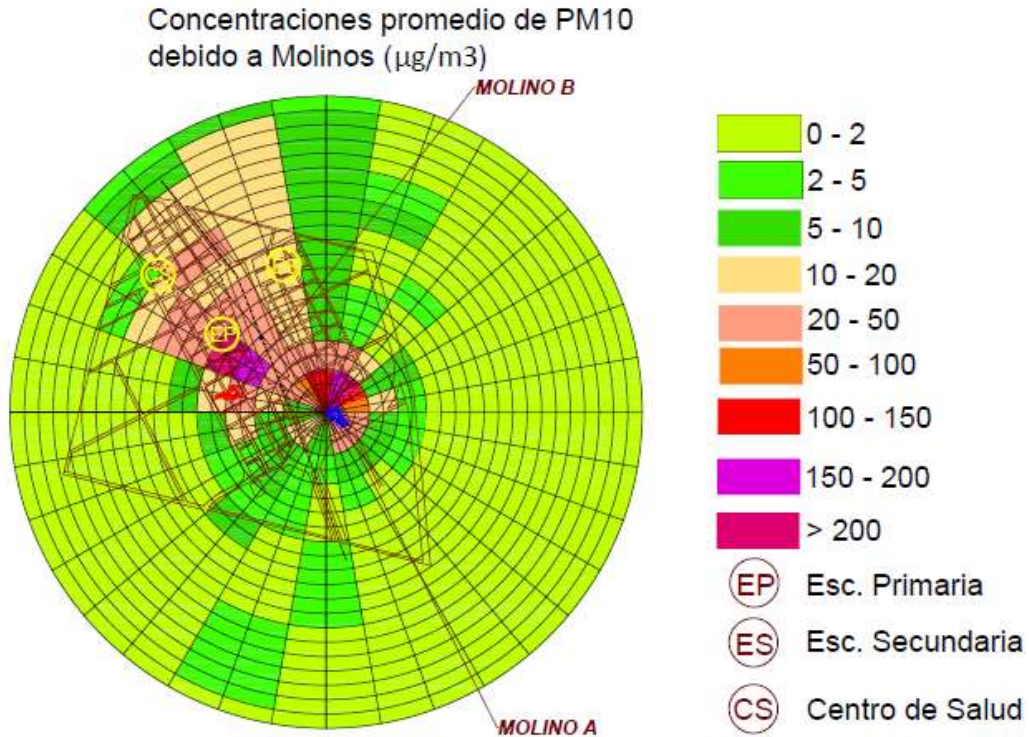


Fig. 28 – Concentraciones promedio de PM10 debido a los Molinos Arroceros – Distribución espacial

Las concentraciones para receptores discretos son:

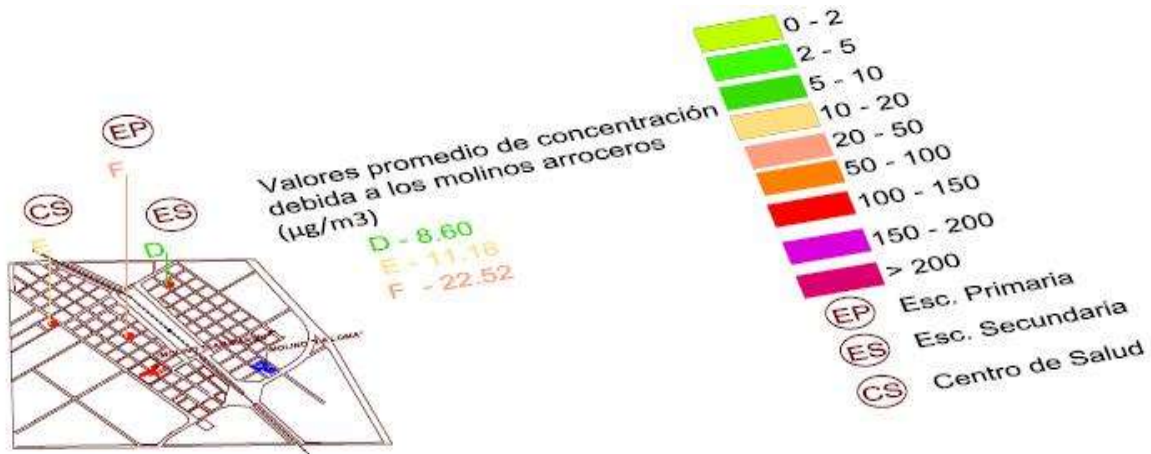


Fig. 29 – Concentraciones promedio de PM10 debido a los Molinos Arroceros – Receptores discretos

Se muestra, para dar una mejor interpretación conceptual del problema, las direcciones y las formas que toman, según el modelo gaussiano usado por el programa de modelado, las concentraciones de contaminantes al tiempo de ser emitidas, teniendo en cuenta la distribución de frecuencias de direcciones de viento.

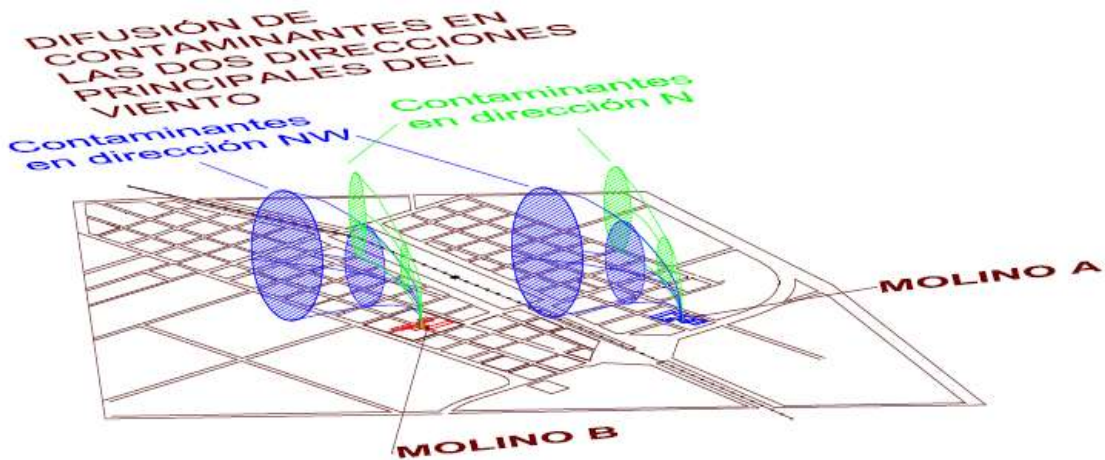


Fig. 30 – Difusión de contaminantes según las dos direcciones principales del viento para los Molinos Arroceros

15. CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN TOTAL

La suma de las concentraciones expuestas hasta aquí, se presentan a continuación. Estos valores totales son los que se deberían tener en cuenta a la hora de la toma de decisiones respecto a la mitigación de las emisiones, si fuera el caso.

En coordenadas polares y para cada receptor, la distribución de contaminantes se observa a continuación:

Concentraciones promedio de PM10 totales ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)											
Grados	Radio (m)										
	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200
20°	199,95	132,30	32,45	8,31	5,25	5,08	7,62	6,96	3,74	2,73	2,40
40°	299,89	111,29	7,78	4,71	5,22	4,39	2,86	2,37	2,06	1,89	1,76
60°	172,29	76,50	10,71	3,64	1,79	1,32	1,13	0,98	0,90	0,88	0,86
80°	84,15	33,45	5,72	2,78	2,29	2,42	2,66	2,61	2,23	1,71	1,26
100°	52,54	17,04	5,85	2,72	1,77	1,18	0,80	0,59	0,46	0,37	0,31
120°	50,90	15,17	11,19	3,48	1,78	1,19	0,93	0,77	0,65	0,54	0,45
140°	47,46	14,38	9,81	2,59	1,79	1,62	1,51	1,33	1,32	1,28	1,25
160°	31,30	14,39	5,43	3,57	2,37	1,80	1,47	1,23	1,01	0,91	0,75
180°	16,44	12,84	6,57	6,08	9,37	5,89	5,04	4,78	4,10	3,20	4,01
200°	17,92	9,44	9,05	6,77	4,72	3,95	3,83	4,06	3,86	2,95	1,93
220°	24,68	19,46	11,30	7,03	8,57	4,59	1,65	1,23	1,03	1,07	1,10
240°	33,94	32,19	24,16	9,52	3,73	2,70	1,02	0,67	0,61	0,76	1,03
260°	72,98	168,42	72,52	16,38	4,44	3,35	1,16	1,08	1,30	1,47	1,57
280°	122,80	72,08	81,51	39,38	16,35	6,25	5,56	5,25	4,05	2,71	1,69
300°	152,75	76,92	186,52	251,93	56,91	53,79	19,33	10,59	7,16	5,38	4,09
320°	119,06	79,00	54,87	61,20	79,76	41,56	54,76	114,31	33,10	17,36	10,75
340°	143,21	138,89	37,03	39,26	64,63	91,05	23,53	24,28	24,12	18,32	12,95
360°	157,15	74,29	26,84	31,21	23,96	13,35	11,03	12,18	12,45	9,11	6,85

Tabla 26 – Concentraciones promedio de PM10 totales debido a los Molinos Arroceros

La gráfica que concentra los valores de la tabla para cada dirección radial, es la siguiente:

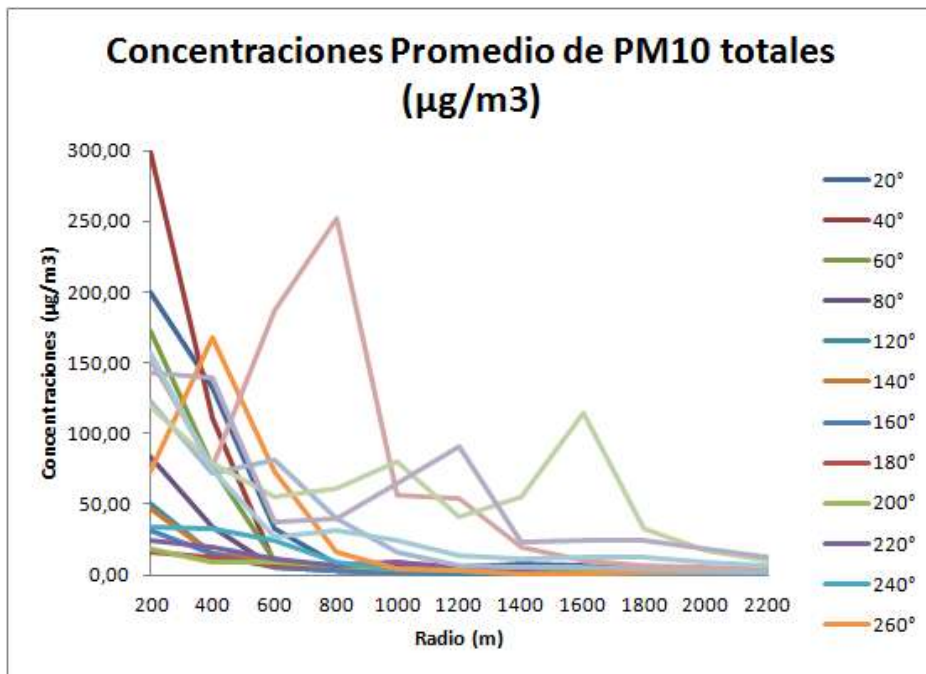


Fig. 31 – Concentraciones promedio de PM10 totales

La distribución espacial es la siguiente:

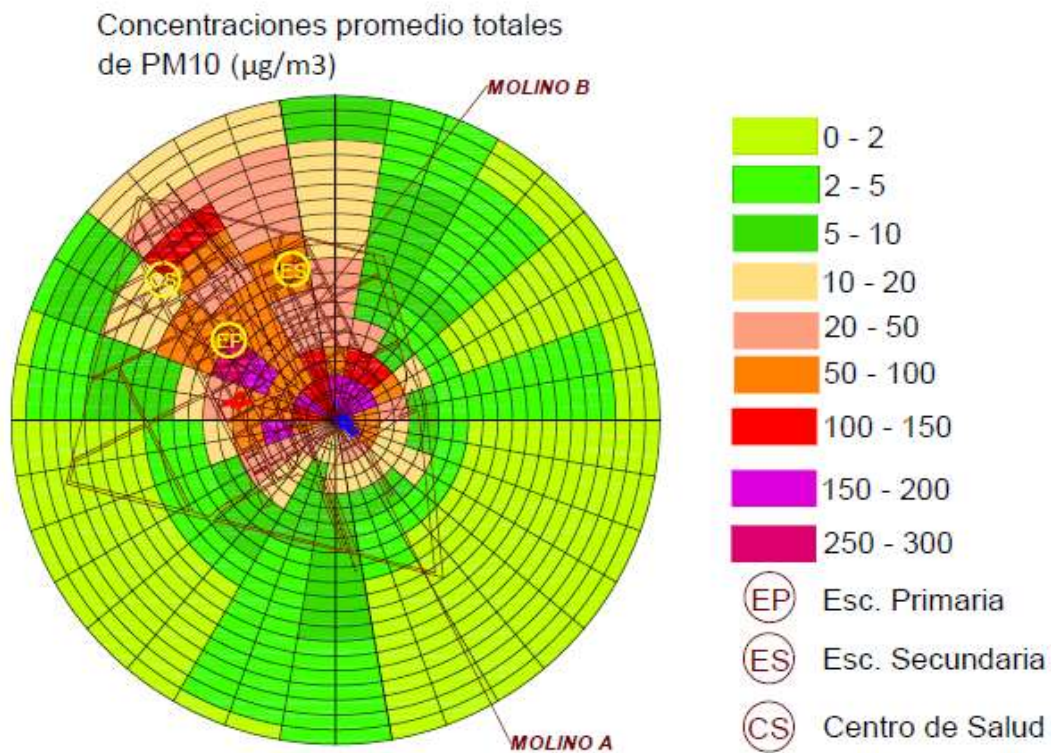


Fig. 32 – Concentraciones promedio totales de PM10 – Distribución espacial

Para los receptores discretos considerados, los valores son:

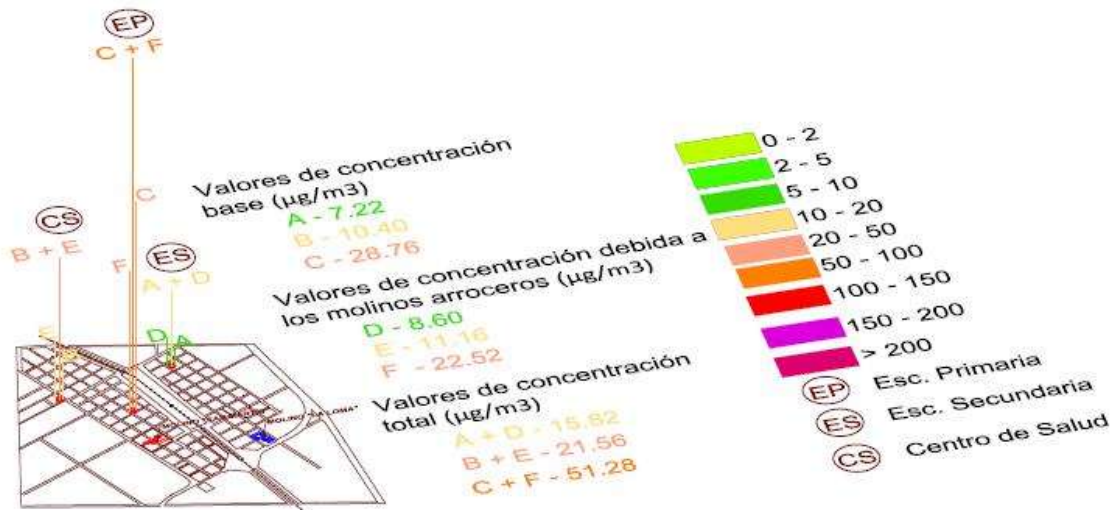


Fig. 33 – Concentraciones promedio totales de PM10 debido a los Molinos Arroceros

Nuevamente, la distribución se explica observando la frecuencia de distribución de las direcciones de viento.

Cabe aclarar, que para obtener las concentraciones totales, no se realizó el modelado con el programa, sino que simplemente se sumaron los valores obtenidos en forma individual para cada fuente de emisión. De realizarse el modelado, deberán modelarse todas las fuentes juntas con todas las tasas de emisión juntas, actuando todo en forma simultánea.

16. VALORES LÍMITES ESTABLECIDOS EN LA GUÍA DE CALIDAD DEL AIRE DE LA OMS

La OMS (Organización Mundial de la Salud) establece los lineamientos generales a seguir a nivel mundial en lo que respecta a los niveles de emisiones de PM10 y PM2,5. En el caso del presente trabajo, interesa el primero de los límites, dado que la modelación realizada es correspondiente con el mismo.

El cuadro siguiente, establece dichos límites.

Guías	
MP_{2,5}:	10 µg/m³, media anual 25 µg/m³, media de 24 horas
MP₁₀:	20 µg/m³, media anual 50 µg/m³, media de 24 horas

Fig. 34 – Límites de concentraciones establecidos por la OMS

La OMS establece estos límites en función del potencial deterioro de la salud pública, el cual aumenta con el período de exposición.

Las principales afecciones que ocurren a los habitantes de una población expuesta a altos niveles de concentración de PM son básicamente dos: pulmonares y cardíacas.

17. CONCLUSIONES

En base a lo expuesto, se exponen las siguientes conclusiones:

1. Para los receptores discretos, se observa que los valores calculados para los puntos de interés (Escuela Primaria, Escuela Secundaria y Centro de Salud) son los que se resumen en la siguiente tabla en función del tipo de fuente:

Concentraciones promedios anuales (µg/m ³)			
Receptores Discretos	Parque automotor (Base)	Molinos Arroceros	Total
Escuela Primaria	28,76	22,52	51,28
Escuela Secundaria	7,22	8,60	15,82
Centro de Salud	10,40	11,16	21,56

Tabla 27 – Concentraciones promedios anuales

Teniendo en cuenta los valores límites establecidos por la OMS y discriminando por tipo de fuente, se puede concluir que solo en la Escuela Primaria se supera la media anual establecida como umbral, para ambos tipos de fuentes modeladas. Esto es

lógico, dado que la Escuela Primaria se encuentra en inmediaciones del baricentro geográfico del área urbana, por donde circula la mayor cantidad de vehículos la mayor cantidad de tiempo y, además, es el receptor discreto que más equidistante se ubica de las fuentes emisoras de los Molinos Arroceros.

Si se tiene en cuenta el total de las concentraciones, se nota que, además de ser la Escuela Primaria el primer receptor afectado, se suma el Centro de Salud, superando apenas el umbral.

La incidencia promedio, para los tres receptores, del sector de molinería es, aproximadamente 50%.

Si se desea tomar alguna medida de mitigación de estos niveles de concentraciones, es recomendable y más factible realizarla sobre las emisiones producidas por los molinos arroceros, dado que si se quisiera aplicar mejoras a las emisiones del parque automotor, se deberá regenerar gran parte de éste, lo cual presume un mayor costo.

2. Para los receptores en forma de grilla polar (mapa de calor), se pueden obtener las siguientes conclusiones:

a. El mapa de calor generado para la concentración base muestra que, mayoritariamente, domina el color rosa sobre el entramado urbano, lo cual indica que las concentraciones prevalecientes, en promedio espacial y temporal, rondan entre 20 – 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, presentándose algunas zonas de valores menores y otras de valores mayores, no superándose la categoría de 150 – 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Luego, se puede decir que las concentraciones generadas por el parque automotor a lo largo del extendido urbano, supera en forma categórica los valores umbrales establecidos por la OMS.

b. Para el caso de las concentraciones generadas por los Molinos Arroceros, se puede realizar una conclusión semejante a lo expuesto en el punto a. Aquí, el color predominante sigue siendo el rosa (20 – 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) pero aparece una fuerte incidencia espacial de la categoría de 10 – 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (color naranja suave) y aéreas de concentraciones que superan los 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (color violeta). Estas últimas

aéreas, las de mayores concentraciones, se dan, como es lógico, en las inmediaciones de las fuentes emisoras.

Claramente, los valores límites establecidos por la OMS también se superan para este proceso de modelado.

c. En el caso del mapa de calor realizado para el total de la concentraciones, muestra un dominio espacial compartido de los colores rosa y naranja (20 – 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 50 – 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente) y zonas aisladas de altas concentraciones alrededor de los Molinos Arroceros y en aquellos puntos donde la concentración base presenta valores elevados, como por ejemplo, alrededor de la Escuela Primaria, alcanzándose valores de entre 250 – 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Los valores umbrales se superan ahora en una mayor cantidad de puntos del entramado polar que se dispuso sobre la planta urbana, indicando esto la necesidad de tomar medidas de mitigación en, preferentemente, las fuentes emisoras industriales modeladas ya que, como se expuso al tratar los receptores discretos, realizar mejoras en el parque automotor es más costoso y menos factible técnicamente.

Claramente, la zona afectada es toda la zona de estudio. Incluso, se generan algunos valores altos fuera del entramado urbano, en zonas rurales, pudiendo esto afectar las actividades agrícolas de la zona.

18. ANEXOS

Dada la gran extensión que tienen los archivos con los resultados de los cálculos realizados por el software, es que el autor decidió incluir solo los títulos de los mismos en el presente trabajo, dejando sus contenidos en el CD que acompaña a éste.

18.1 Archivo de datos meteorológicos (.asc)

18.2 Archivo de entrada de opciones de modelación (.INP)

18.3 Archivo de salida de las opciones de modelación seleccionadas (.OUT)

18.4 Archivo de valores promedio (POST24.FIL)

18.5 Archivos de primeros valores más altos (PLOT1ST.FIL)

18.6 Archivo de segundos valores más altos (PLOT2ND.FIL)

18.7 Archivo de terceros valores más altos (PLOT3RD.FIL)

19. TABLAS

Tabla 1 – Etapas de la producción donde se generan emisiones de material particulado	pág. 19
Tabla 2 – Muestro del Parque Automotor	pág. 26
Tabla 3 – Extrapolación del Parque Automotor	pág. 27
Tabla 4 – Categorías de vehículos según las Normas de la Unión Europea	pág. 27
Tabla 5 – Clasificación del Parque Automotor en categorías	pág. 28
Tabla 6 – Factores de emisión según categorías de vehículos	pág. 29
Tabla 7 – Tasas de emisión de categoría M – subcategoría M1	pág. 30
Tabla 8 – Selección de configuración de ejes promedio	pág. 32
Tabla 9 – Configuración de ejes según dimensiones y peso máximo	pág. 33
Tabla 10 – Tasas de emisión de categoría N – subcategoría N2	pág. 34
Tabla 11 – Tasas de emisión para cada etapa del proceso de producción de arroz para el Molino A	pág. 37
Tabla 12 – Porcentajes de 1kg de arroz paddy	pág. 37
Tabla 13 – Tasas de emisión para cada etapa del proceso de producción de arroz para el Molino B	pág. 38
Tabla 14 – Clase de Insolación según la Radiación Solar incidente	pág. 47
Tabla 15 – Clase de Estabilidad según clase de insolación y velocidad del viento	pág. 47
Tabla 16 – Clase de Estabilidad según la radiación solar incidente y la nubosidad	pág. 48
Tabla 17 – Clase de Estabilidad según el método Radiación solar/Delta-T	pág. 49
Tabla 18 – Altura de capa de mezcla según el criterio de Klug	pág. 50
Tabla 19 – Límites de almacenamiento del ISCST3	pág. 55
Tabla 20 – Tasa de emisión promedio para el parque automotor	pág. 59
Tabla 21 – Tasa de emisión específica para cada área emisora	pág. 61
Tabla 22 – Concentraciones promedio de PM10 base	pág. 64
Tabla 23 – Tasas específicas de emisión para el Molino Arrocero A	pág. 68
Tabla 24 – Tasas específicas de emisión para el Molino Arrocero B	pág. 69
Tabla 25 – Concentraciones promedio de PM10 debido a los Molinos Arroceros	pág. 70
Tabla 26 – Concentraciones promedio de PM10 totales debido a los Molinos Arroceros	pág. 73
Tabla 27 – Concentraciones promedios anuales	pág. 76

20. ECUACIONES

Ec.1 – Tasa de emisión del contaminante	pág. 29
Ec.2 – Homologación de unidades de la tasa de emisión para la categoría N - subcategoría N2	pág. 36
Ec.3 – Capacidad de producción – Molino A	pág. 38
Ec.4 – Capacidad de producción – Molino B	pág. 38
Ec.5 – Distribución Gaussiana de dispersión de contaminantes para fuente puntual	pág. 57
Ec.6 – Distribución Gaussiana de dispersión de contaminantes para fuente areal	pág. 57

21. FIGURAS

Fig. 1 - Imagen satelital del la planta urbana de Los Charrúas	pág. 7
Fig. 2 - Imagen satelital del Molino A	pág. 8
Fig. 3 - Imagen satelital del Molino B	pág. 8
Fig. 4 – Gradiente adiabático	pág. 22
Fig. 5 – Condiciones de inestabilidad atmosférica	pág. 23
Fig. 6 – Condiciones de neutralidad atmosférica	pág. 23
Fig. 7 – Condiciones de estabilidad atmosférica	pág. 24
Fig. 8 – Altura de capa de mezcla	pág. 24
Fig. 9 – Tasas de emisión de categoría M – subcategoría M1	pág. 31
Fig. 10 – Tasas de emisión de categoría N – subcategoría N2	pág. 35
Fig. 11 – Esquema de trabajo para la aplicación del modelo	pág. 45
Fig. 12 – Conformación del archivo de datos de entrada meteorológicas	pág. 46
Fig. 13 – Modelo Gaussiano de dispersión de contaminantes	pág. 55
Fig. 14 – Tarjeta CO del software ISCST3 – Concentración base	pág. 58
Fig. 15 – Disposición de las áreas emisoras modeladas para la Concentración Base	pág. 59
Fig. 16 – Tarjeta SO del software ISCST3 - Concentración base	pág. 61
Fig. 17 – Tarjeta RE del software ISCST3 - Concentración base	pág. 62
Fig. 18 – Tarjeta ME del software ISCST3 - Concentración base	pág. 63
Fig. 19 – Tarjeta OU del software ISCST3 - Concentración base	pág. 63
Fig. 20 – Concentraciones promedio de PM10 base	pág. 65
Fig. 21 – Concentraciones promedio de PM10 base – Distribución espacial	pág. 65
Fig. 22 – Concentraciones promedio de PM10 base – Receptores discretos	pág. 66
Fig. 23 – Frecuencia de ocurrencia de las distintas direcciones de viento (Rosa de los vientos)	pág. 66
Fig. 24 – Tarjeta SO del software ISCST3 - Concentración debida a Molinos Arroceros	pág. 67
Fig. 25 – Disposición de las áreas emisoras modeladas para el Molino Arrocero A	pág. 68
Fig. 26 – Disposición de las áreas emisoras modeladas para el Molino Arrocero B	pág. 69
Fig. 27 – Concentraciones promedio de PM10 debido a los Molinos Arroceros	pág. 71
Fig. 28 – Concentraciones promedio de PM10 debido a los Molinos Arroceros – Distribución espacial	pág. 71
Fig. 29 – Concentraciones promedio de PM10 debido a los Molinos Arroceros – Receptores	pág. 72
Fig. 30 – Difusión de contaminantes según las dos direcciones principales del viento para los Molinos Arroceros	pág. 72
Fig. 31 – Concentraciones promedio de PM10 totales	pág. 74
Fig. 32 – Concentraciones promedio totales de PM10 – Distribución espacial	pág. 74
Fig. 33 – Concentraciones promedio totales de PM10 debido a los Molinos Arroceros	pág. 75
Fig. 34 – Límites de concentraciones establecidos por la OMS	pág. 76

22. BIBLIOGRAFÍA

- *Guía del usuario para el modelo de dispersión de complejo de fuente industrial (ISC3) – EPA*

- *Publicaciones consultadas:*

Determinación de la carga de material particulado que genera el sector de la molinería de arroz del área metropolitana de Bucaramanga – Ing. Sanitaria y Ambiental Jeni Paola Angarita Buitrago. Universidad Industrial de Santander. Facultad de ciencias. Escuela de química – especialización en química ambiental. Bucaramanga 207.

Dispersión de contaminantes atmosféricos: Modelo gaussiano de la columna de humo – Asignatura de contaminación atmosférica. Área de química física – Universidad Pablo de Olavide, Sevilla.

Aplicación práctica del modelo de dispersión de contaminantes atmosféricos – ISCST3 - Agustín Torrez Jerez. Máster en Ingeniería y Gestión ambiental 2007/2008. Módulo: contaminación atmosférica.

Guías de calidad del aire de la OMS, relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre – Actualización mundial 2005 – Resumen de evaluación de riesgos.

23. AGRADECIMIENTOS

A Dios, primera y fundamentalmente. Solo Él conoce verdaderamente mi historia.

A mi familia, pilar fundamental en esta hermosa aventura de estudiar ingeniería y cuyo aliento siempre estuvo presente. Sin ella, no hubiera podido seguir avanzando en los momentos más complicados, tanto personal como académicamente, y tampoco me hubiera sido posible compartir y disfrutar los buenos momentos.

A las señoras Raquel Cabrera y Elsa Di Pasquo, por empujarme día a día a continuar el camino, por enseñarme a no bajar los brazos, por llorar mis tristezas y reír mis alegrías conmigo. Para ellas, mis abuelas postizas, las que se ganaron mi corazón, mi más profundo agradecimiento.

A mis compañeros de facultad, por la cantidad incontable de horas compartidas entre clases, horas de estudio, y, por supuesto, por los preciosos momentos compartidos fuera del ámbito académico. Gracias chicos.

A mis amigos, que ellos ya saben quiénes son, por lo que no hace falta nombrarlos. Gracias de corazón por ponerme el hombro siempre.

Un agradecimiento especial merece el profesor que me impulso, más que nadie, a desarrollar este trabajo, el cual seguro estaría contento con lo conseguido en él. Para el Ing. Ignacio Silva, al cual siempre recordaré en mi mente y tendré presente en mi corazón, va dedicado este trabajo en su totalidad. Gracias.

Por último, me gustaría agradecer, no con menor ímpetu, a todo el grupo de docentes y formadores que, a lo largo de este tiempo, han sabido enseñarme francamente los valores de la profesión, tanto profesionalmente como humanamente. Mis sinceros respetos a todos ustedes.