

4. RESULTADOS

En la Tabla 5 y 6, se presentan los valores de los niveles de intensidad sonora obtenidos por el modelo matemático desarrollado (L_{Modelo}), así como el nivel de intensidad obtenido producto de la suma del nivel sonoro actual y el modelado ($L_{Resultante}$).

Tabla 5. Nivel de intensidad sonoro modelado y resultante para el día.

| Puntos de medición | X (m) | Y (m) | L_{Medido} (dBA) | $L_{modelado}$ (dBA) | $L_{Resultante}$ (dBA) |
|--------------------|-------|-------|--------------------|----------------------|------------------------|
| 1 | 526 | 1 840 | 75,6 | 27,0 | 75,6 |
| 2 | 999 | 2 146 | 80,2 | 31,0 | 80,2 |
| 3 | 1 735 | 2 318 | 76,0 | 36,0 | 76,0 |
| 4 | 2 216 | 2 258 | 57,2 | 41,0 | 57,3 |
| 5 | 2 842 | 1 608 | 56,5 | 55,0 | 58,8 |
| 6 | 3 045 | 1 339 | 63,4 | 62,0 | 65,7 |
| 7 | 3 091 | 1 122 | 48,7 | 69,0 | 69,0 |
| 8 | 3 646 | 1 892 | 63,1 | 45,0 | 63,1 |
| 9 | 2 748 | 2 938 | 80,0 | 34,0 | 80,0 |
| 10 | 3 886 | 2 244 | 58,5 | 39,0 | 58,5 |
| 11 | 3 564 | 3 901 | 73,9 | 22,0 | 73,9 |
| 12 | 2 558 | 3 371 | 69,5 | 29,0 | 69,5 |
| 13 | 1 851 | 291 | 53,1 | 42,0 | 53,4 |
| 14 | 1 781 | 553 | 53,2 | 43,0 | 53,5 |
| 15 | 1 767 | 853 | 49,9 | 45,0 | 51,1 |
| 16 | 1 692 | 1 152 | 49,7 | 44,0 | 50,7 |
| 17 | 1 227 | 314 | 63,3 | 34,0 | 63,3 |
| 18 | 1 038 | 965 | 72,6 | 34,0 | 72,6 |
| 19 | 796 | 1 638 | 74,4 | 31,0 | 74,4 |
| 20 | 779 | 3 162 | 73,0 | 21,0 | 73,0 |
| 21 | 4 057 | 3 493 | 80,3 | 24,0 | 80,3 |
| 22 | 4 200 | 2 770 | 68,0 | 31,0 | 68,0 |
| 23 | 116 | 139 | 63,0 | 22,0 | 63,0 |
| 24 | 116 | 4350 | 74,0 | 3,0 | 74,0 |
| 25 | 4 350 | 4 350 | 72,0 | 15,0 | 72,0 |
| 26 | 4 350 | 139 | 52,0 | 37,0 | 52,1 |
| 27 | 2 796 | 1 123 | 53,0 | 68,0 | 68,1 |
| 28 | 2 099 | 1 814 | 59,0 | 45,0 | 59,2 |
| 29 | 3 493 | 1 814 | 62,0 | 48,0 | 62,2 |
| 30 | 2 092 | 426 | 51,0 | 47,0 | 52,4 |
| 31 | 3 493 | 426 | 51,0 | 51,0 | 54,0 |
| 32 | 2 092 | 1 117 | 51,0 | 50,0 | 53,5 |
| 33 | 2 803 | 1 814 | 59,0 | 51,0 | 59,6 |
| 34 | 3 493 | 1 123 | 56,0 | 57,0 | 59,5 |
| 35 | 2 796 | 416 | 49,0 | 52,0 | 53,7 |
| 36 | 1 395 | 1 123 | 63,0 | 39,0 | 63,0 |
| 37 | 2 800 | 1 123 | 54,0 | 72,0 | 72,0 |

Los valores en azul son los lugares poblados en donde el nivel de intensidad sonora sufre un leve incremento.

Tabla 6. Nivel de intensidad sonora modelado y resultante para la noche.

| Puntos de medición | X (m) | Y (m) | LMedido (dBA) | Lmodelado (dBA) | LResultante (dBA) |
|--------------------|-------|-------|---------------|-----------------|-------------------|
| 1 | 526 | 1 840 | 71,1 | 27,0 | 71,1 |
| 2 | 999 | 2 146 | 72,0 | 31,0 | 72,0 |
| 3 | 1 735 | 2 318 | 56,4 | 36,0 | 56,4 |
| 4 | 2 216 | 2 258 | 58,0 | 41,0 | 58,0 |
| 5 | 2 842 | 1 608 | 53,0 | 55,0 | 57,1 |
| 6 | 3 045 | 1 339 | 52,0 | 62,0 | 62,4 |
| 7 | 3 091 | 1 122 | 51,0 | 69,0 | 69,0 |
| 8 | 3 646 | 1 892 | 54,0 | 45,0 | 54,5 |
| 9 | 2 748 | 2 938 | 72,4 | 34,0 | 72,4 |
| 10 | 3 886 | 2 244 | 54,0 | 39,0 | 54,1 |
| 11 | 3 564 | 3 901 | 68,6 | 22,0 | 68,6 |
| 12 | 2 558 | 3 371 | 58,8 | 29,0 | 58,8 |
| 13 | 1 851 | 291 | 51,0 | 42,0 | 51,5 |
| 14 | 1 781 | 553 | 53,1 | 43,0 | 53,5 |
| 15 | 1 767 | 853 | 46,6 | 45,0 | 48,9 |
| 16 | 1 692 | 1 152 | 39,6 | 44,0 | 45,3 |
| 17 | 1 227 | 314 | 50,2 | 34,0 | 50,3 |
| 18 | 1 038 | 965 | 57,1 | 34,0 | 57,1 |
| 19 | 796 | 1 638 | 60,2 | 31,0 | 60,2 |
| 20 | 779 | 3 162 | 69,2 | 21,0 | 69,2 |
| 21 | 4 057 | 3 493 | 74,9 | 24,0 | 74,9 |
| 22 | 4 200 | 2 770 | 50,6 | 31,0 | 50,6 |
| 23 | 116 | 139 | 52,0 | 22,0 | 52,0 |
| 24 | 116 | 4350 | 69,0 | 3,0 | 69,0 |
| 25 | 4 350 | 4 350 | 65,0 | 15,0 | 65,0 |
| 26 | 4 350 | 139 | 50,0 | 37,0 | 50,2 |
| 27 | 2 796 | 1 123 | 51,0 | 68,0 | 68,1 |
| 28 | 2 099 | 1 814 | 52,0 | 45,0 | 52,7 |
| 29 | 3 493 | 1 814 | 54,0 | 48,0 | 54,9 |
| 30 | 2 092 | 426 | 49,0 | 47,0 | 51,1 |
| 31 | 3 493 | 426 | 50,0 | 51,0 | 53,5 |
| 32 | 2 092 | 1 117 | 47,0 | 50,0 | 51,7 |
| 33 | 2 803 | 1 814 | 55,0 | 51,0 | 56,4 |
| 34 | 3 493 | 1 123 | 51,0 | 57,0 | 57,9 |
| 35 | 2 796 | 416 | 50,0 | 52,0 | 54,1 |
| 36 | 1 395 | 1 123 | 50,0 | 39,0 | 50,3 |
| 37 | 2 800 | 1 123 | 50,0 | 72,0 | 72,0 |

Los valores en azul son los lugares poblados en donde el nivel de intensidad sonora sufre un leve incremento.

Las Figuras 7, 8 y 9 presenta la propagación de los niveles sonoros productos de la modelación matemática.

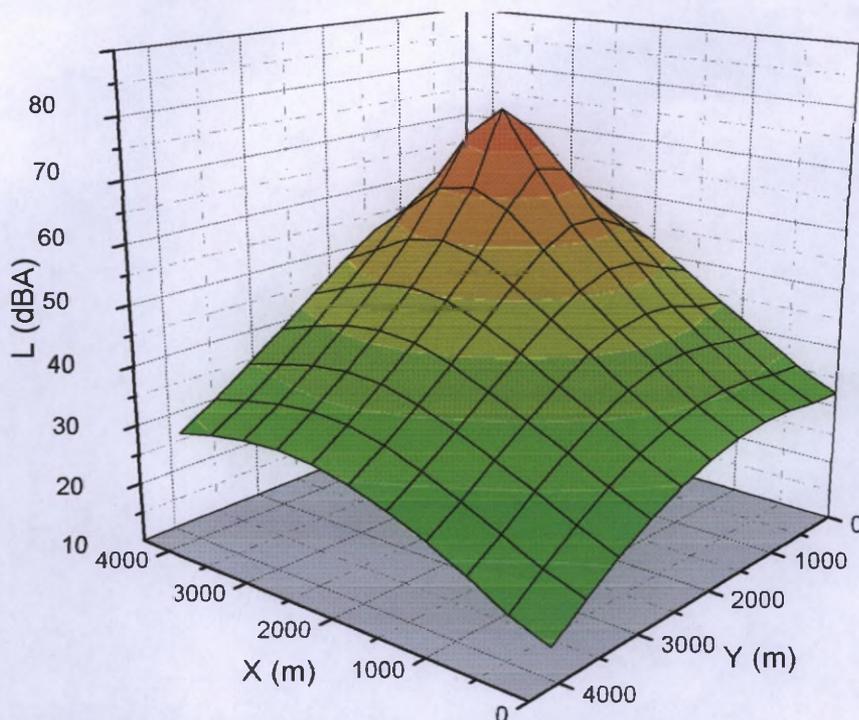


Fig. 7. Nivel sonoro durante el día, modelado por computadora.

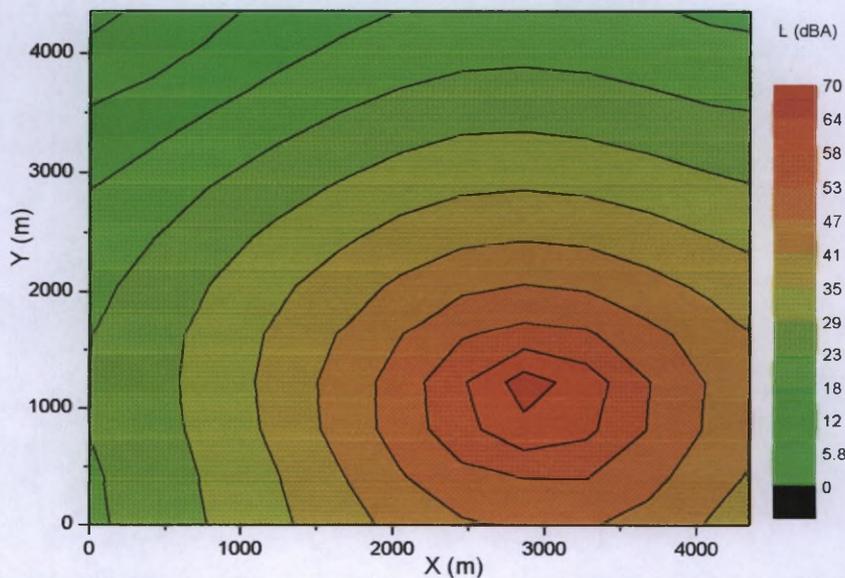


Fig. 8. Nivel sonoro en el área de estudio, modelado por computadora.

El punto rojo con niveles de 74 dBA, representa el foco emisor: la futura planta de tratamiento. Este foco propaga el ruido a través del plano, disminuyendo su acción, representado con tonalidades que van del chocolate al verde, extienden en rangos menores de 40 dBA. Es

evidente que el ruido de la planta como única fuente de ruido, pierde su efecto a medida que se propaga por el área de estudio.



Fig. 9. Dispersión sonora modelada debido a la planta depuradora.

Las isolíneas plasmadas en el mapa satelital de la zona de estudio, nos indican el punto único emisor de ruido a través de la línea cerrada en donde las demás divergen. Las líneas van tocando Costa del Este desde los 42 dBA pasando por los 35 hasta llegar a los 28 dBA.

AFECTACIÓN DURANTE EL DÍA

En las Figuras 10, 11 y 12 se presentan la afectación del nivel sonoro durante el día, producto de la modelación sonora de la planta depuradora.

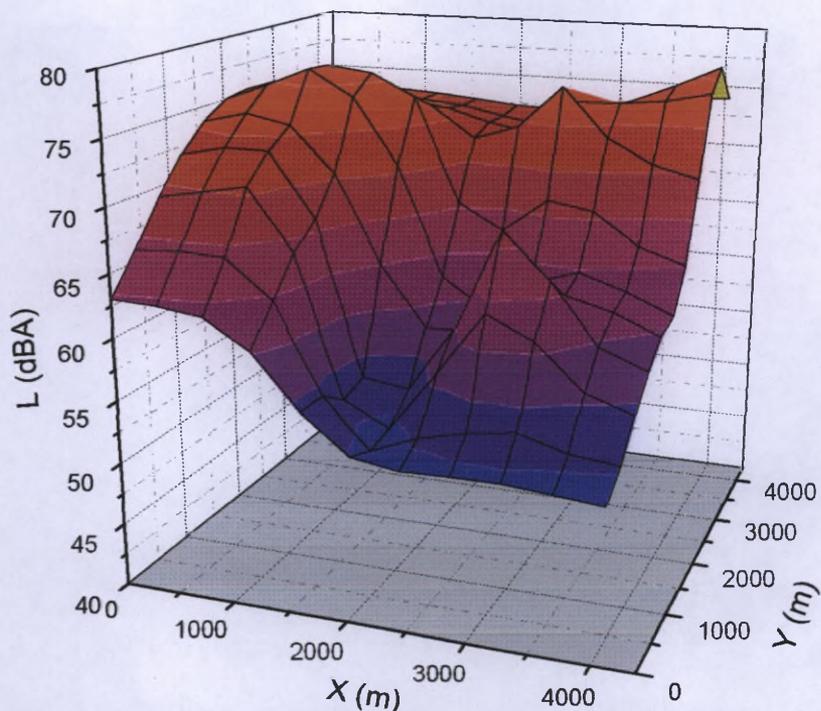


Fig 10. Afectación del nivel sonoro durante el día.

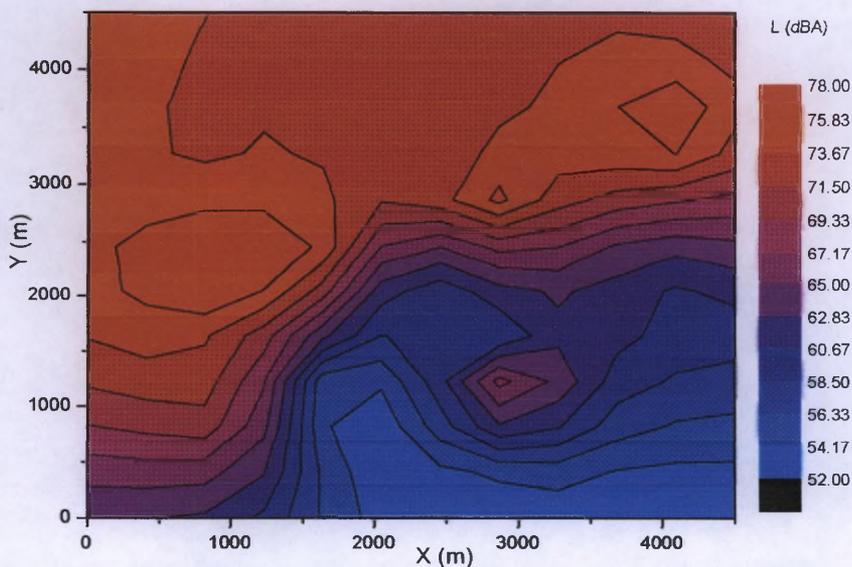


Fig. 11. Afectación sonora en el área de estudio durante el día.

Los gráficos ilustran la suma de los emisores sonoros de la futura planta de aguas residuales y el flujo vehicular del Corredor Sur, y las distintas vías de acceso. Se aprecian cúspides que

recogen niveles sonoros de 75 dBA, y de 65 dBA, así como niveles bajos de menos de 50 dBA representados en tonalidades azules.



Fig. 12. Afectación sonora en el área de estudio durante el día.

La modelación predice que los niveles sonoros en los lugares Costa del Este, colindantes con el manglar, no se verán incrementados durante el día en más de 1,2 dBA, alcanzando valores máximos de 53,5 dBA.

Afectación durante la noche.

En las Figuras 13, 14 y 15 se presentan la afectación sonora, durante la noche, debido al funcionamiento de la futura planta depuradora.

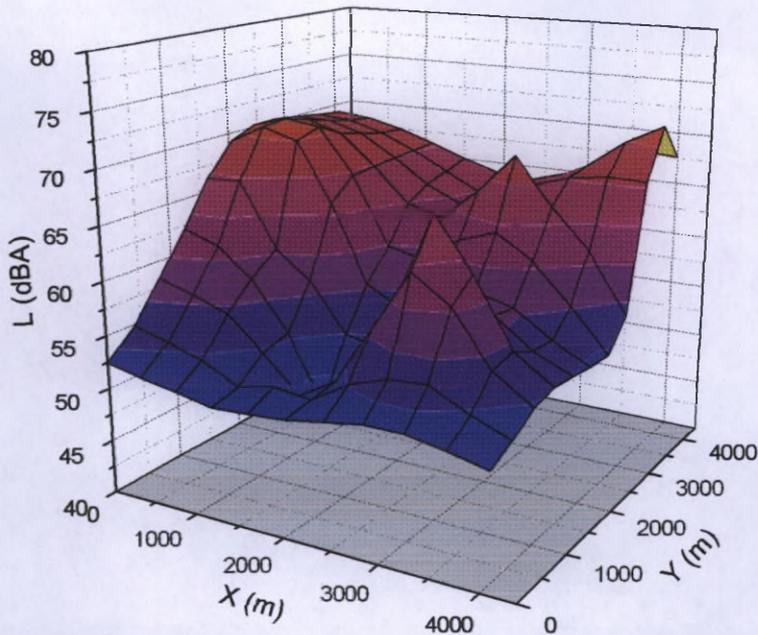


Fig. 13. Afectación sonora en el área de estudio durante la noche.

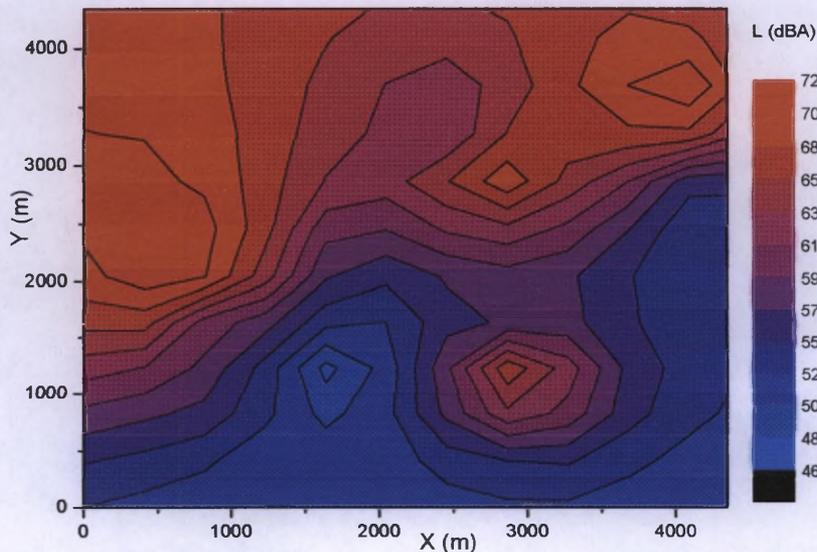


Fig. 14. Afectación sonora en el área de estudio durante la noche.

Los gráficos ilustran la suma de los emisores sonoros de la futura planta de aguas residuales y el flujo vehicular del Corredor Sur, y las distintas vías de acceso. Se aprecian cúspides que recogen niveles sonoros de 61 dBA, y de 72 dBA. Los centros de propagación se van atenuando hasta llegar a tonalidades azules con niveles inferiores a los 50 dBA.



Fig. 15. Afectación sonora en el área de estudio durante el día.

La modelación predice que los niveles sonoros durante la noche en los lugares del residencial Costa del Este, colindantes con el manglar y en dirección de la plata de tratamiento, que están por debajo de de los 50 dBA, los lugares cuyos niveles sonoros está por arriba de 50 dBA, se incrementarán a lo sumo en 0,4 dBA.

5. CONCLUSIONES

Como era de esperar, los puntos de medición 1, 2, 9, 21 situados en las proximidades de la autopista, superan tanto de día como en la noche los límites recomendados por la OMS. Mientras que el punto 3 también situado en las proximidades de la autopista superan solamente en el día el límite recomendado.

Los puntos de medición 11, 18, 19 y 20 los cuales concuerdan con calles con circulación vehicular permanente, también exceden, los límites recomendados por la OMS.

No está demás señalar que los lugares próximos a los puntos 14 y 22, presentan parajes naturales con una intensa actividad de la fauna nocturna de una gran variedad, propia de los ecosistemas de humedales.

Es importante recalcar que la República de Panamá no tiene norma que regule el ruido ambiente. Por lo que hemos utilizado la recomendación de la Organización Mundial de la Salud.

La modelación matemática del impacto sonoro, predice que los niveles sonoros durante la el día y la noche en los lugares del residencial Costa del Este, no sufrirá aumentos significativos del nivel de intensidad sonora que los eleve por arriba de valores prohibidos por normas nacionales o de la OMS.

6. RECOMENDACIONES

Las principales actuaciones de gestión del ruido para la Estación Depuradora de Aguas Residuales de la ciudad de Panamá, esta enmarcada en los siguientes aspectos:

6.1. Gestión ambiental del ruido

Las políticas que se apliquen en la planta tendrán los criterios de prevención, de control y de saneamiento acústico o reducción. De acuerdo con estos instrumentos, las principales acciones que permiten establecer una gestión ambiental eficaz de ruido son:

6.1.1. Planificación del uso del suelo

La gestión del ruido como herramienta de la calidad ambiental permite la planificación en tiempo y espacio, ya que la demarcación de las zonas ocupadas para una determinada actividad, permite establecer los límites máximos permitidos y sus futuros correctivos.

Para el cumplimiento de esta planificación se deberá establecer clasificaciones de las zonas de acuerdo a su actividad en la planta (sectores de oficinas, sectores de almacenamiento, sectores de talleres, proceso, generadores, áreas recreativas, áreas verdes, etc.).

Reservar los espacios de terreno no ocupados, dentro de los linderos de la planta de tratamiento, como áreas verdes. Esta medida pretende amortizar la propagación del impacto sonoro.

6.1.2. La sensibilización

Se trata de crear un plan que sensibilice e informe a todos los trabajadores sobre el problema del ruido y como combatir las molestias posibles que el ruido puede generar. Las campañas de sensibilización adoptadas deben incluir mecanismos de auto evaluación para lograr una corroboración de la efectividad del plan de sensibilización.

Estas campañas deben lograr una protección auditiva efectiva y de concienciación de que su uso es parte de la ecoeficiencia y la imagen corporativa que dirigirá al proceso productivo hacia la ISO 14 001. Es importante para este proyecto, incorporar todas las iniciativas para alcanzar la ecoeficiencia en la "primera planta de tratamiento de aguas residuales para la urbe capitalina".

Recomendaciones para el uso de protección auditiva

- Ante cada contratación, se realizaran talleres sobre el ruido, la protección auditiva y la importancia de un uso correcto del mismo.
- Los incentivos a través del reconocimiento del uso apropiado de la protección auditiva es una forma eficaz y positiva de manejo laboral.
- La dirección de seguridad e higiene laboral debe contar con inspectores internos que garanticen el uso de los protectores auditivos idóneos.
- Los protectores auditivos deben estar homologados internacionalmente.

6.2. Monitoreos

La adecuada gestión del ruido comporta un sistema de vigilancia y control en espacio y tiempo.

- Elaboración o actualización de mapas de ruido en cuanto se introduzcan cambios que alteren el estado general del ruido.
- Mediciones a causa de modificaciones o instalación de nuevas actividades.

6.3. Vigilancia y el control

El control comprende todas aquellas actuaciones que permiten identificar las fuentes puntuales, evaluarlas y proponer, si cabe, las medidas correctoras que han de permitir cumplir con los objetivos de calidad fijados.

6.4. Saneamiento acústico

- **Aislamiento acústico de oficinas.** Para todas las oficinas que serán impactadas por el ruido, se recomienda la colocación de materiales absorbentes de ruido, los sistemas de acondicionador de aire, ventiladores, y otros equipos deben incorporar sistemas silenciosos de funcionamiento.
- Las evaluaciones periódicas de todas las máquinas son recomendadas por este estudio, con la finalidad de afinar, balancear o equilibrar, lubricar y registrar las maquinarias, de manera preventiva.

- **Cortina arbórea.** Para garantizar que los lugares muy próximos a la planta de tratamiento, no se vean afectados significativamente por el impacto sonoro, se recomienda mantener o establecer una cortina arbórea en todos los linderos de la planta. La misma tendrá una extensión mínima de 40 m de ancho, de los cuales al menos 20 m será de árboles de más de 10 m de alto.
- **Disminución de ruido con materiales absorbentes en la zona de proceso.** Para estas zonas se recomienda el revestimiento con material absorbente. Estas áreas requieren en sus paredes materiales adsorbentes acústicos. Las áreas prioritarias son las siguientes:
 - ▶ **Sopladores de aire (10)**
 - ▶ **Generadores de energía, otros**

6.5. Limitar el trabajo al tiempo de exposición. En cumplimiento con la normativa COPANIT 44-2000 se plantea lo siguiente:

- Las fuentes generadoras de ruido en donde se produzca un ruido extremadamente alto (mayores a 85 dBA), se hace necesario el uso obligatorio de protectores auditivos al personal que labora en las áreas críticas. Los protectores deben estar acreditados o certificados con estándares de seguridad internacional.
- Se hace necesario señalizaciones “evidentes” de seguridad en las áreas críticas.
- Se recomiendan exámenes auditivos periódicos al personal que laboran en las áreas críticas. Las evaluaciones periódicas tendrán como objetivo la mejorara de puntos débiles y reforzarán los puntos fuertes, con la visión de mejorar la calidad del trabajo de todo el personal y la optimización y eficacia de las maquinarias.

El mercado ofrece múltiples opciones para la protección auditiva, a manera de ejemplo presentamos el siguiente modelo:

| RECOMENDACIONES PARA PROTECCIÓN AUDITIVA | |
|--|--|
|  | <p>Tapones antirruído a medida Medop “Un único tapón para un oído único” Son unos protectores hechos a medida del canal auditivo del usuario para ofrecer la mejor protección y la máxima comodidad. El tapón atenúa el ruido y discrimina la voz dentro del entorno ruidoso. Incorpora un sistema de ventilación que evita que el oído se encuentre ocluido y elimina la percepción de zumbidos.</p> |
| | <p>Ámbitos de aplicación: Los tapones antirruído de Medop son la perfecta protección para los operarios expuestos al ruido.</p> <p>Sus ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Máxima comodidad por estar hechos a medida en silicona blanda antialérgica. Esta facultad minimiza los posibles traumatismos en el canal auditivo, causados por impactos con objetos móviles o estáticos. ▶ No provocan zumbidos en el oído, ya que éste no se encuentra ocluido gracias al sistema de ventilación que el propio tapón incorpora. ▶ Compatible con la utilización de otros EPIs (gafas, cascos, máscaras...) ▶ Gracias a su diseño, el tapón sella el pabellón auditivo impidiendo la entrada de partículas sólidas y líquidas al interior. ▶ Altamente higiénicos. Lavables con agua y jabón. ▶ Incorporan una válvula selectiva que atenúa el ruido según su intensidad. ▶ Certificados según la norma europea EN 352-2. |
| | <p>Atenuación por bandas de Frecuencia en Hz (ensayo según ISO/DIS 4869-2)</p> <p>POSICIÓN A: Atenuación global en frecuencias: Altas (H): 29-Medias (M): 27- Bajas (L): 26 Valor de la reducción del ruido SNR: 29</p> <p>POSICIÓN B: Atenuación global en frecuencias: Altas (H): 27- Medias (M): 26- Bajas (L): 24 Valor de la reducción del ruido SNR: 28</p> <p>POSICIÓN C: Atenuación global en frecuencias Altas (H): 25 - Medias (M): 21- Bajas (L): 16 Valor de la reducción del ruido SNR: 23</p> |

6.6. Documentación

Todas las actividades de señaladas en esta medida deberán estar documentadas para efectos del Sistema de Registro Ambiental de la planta de tratamiento.

7. BIBLIOGRAFÍA

Ministerio de Comercio e Industria MICI. **Reglamento Técnico No. DGNTI – COPANIT 45 2000.**: Higiene y Seguridad Industrial. No. 505 (6 de octubre 1999). Dirección General de Normas y Tecnología Industrial. Gaceta Oficial, 18 octubre 200º, año XCVI, No. 24 163, República de Panamá pp. 8 18.

Organización Mundial de la Salud (OMS) "Guidelines for Community Noise". Ginebra. 1999.

Manual de Medidas Acústicas y Control de Ruido. 1999. Editorial Mc Graw Hill.

Josep M. Querol. 1995. Control de ruido. Instituto Catalá de Tecnología. Universitat Politècnica de Catalunya.

Villarreal Y., Castillo M., Muñoz, A. Torral, J. Flores, E. "Contaminación Acústica de la Ciudad de Panamá"; (coautor). Revista Tecnociencia Vol. 5, N° 2. Panamá, 2003.

Steel E. y McGh. 1981. Abastecimiento de Agua y Alcantarillado. 5ª edición. Editorial Gustavo Gili, S.A. Barcelona.

Salgot Miguel. 1986. Gestión del Agua. Instituto Catalá de Tecnología. Universitat Politècnica de Catalunya.

Castillo María. 1999. Calidad Ambiental en Panamá. Estrategia Nacional del Ambiente. ANAM.

MODELACIÓN MATEMÁTICA y ESTUDIO DE DISPERSIÓN DE GASES

ESTACIÓN DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES INGEMAR S.A.

1. INTRODUCCIÓN

La planificación ambiental consiste en conjugar las características y problemática de cada lugar y las potencialidades y problemáticas de cada lugar y sus posibilidades actuales y futuras para satisfacer las demandas socioeconómicas. De aquí que podamos señalar que un estudio de impacto ambiental es el análisis de la situación ambiental actual del sitio y la afectación futura cuando el proyecto esté realizado.

Los modelos de difusión de gases expulsados, son instrumentos matemáticos que permiten calcular las concentraciones de contaminantes atmosféricos en un escenario simulado. En el caso que nos ocupa, se modelarán la dispersión de los siguientes gases: NO_x , SO_x , CO_2 y el H_2S (este último gas asociado a olores).

2. DATOS SUMINISTRADOS POR EL PROMOTOR

Gases Emitidos por la Plata Depuradora.

- La principal y fuente de gases es la producida por el proceso de generación de energía eléctrica a gas. La generación contará con dos motores de 1 150 KWh cada uno, los cuales producirá una emitido por la chimenea 42 500 $\text{m}^3/\text{día}$, a una rapidez de salida del contaminante de 2,6 m/s. La altura de la chimenea será de 10 m con un diámetro de 0,20 m, y la temperatura de salida de los gases a la salida de la chimenea será de 333 K. El flujo de salida de cada contaminante emitido a través de la chimenea será:
 - $\text{NO}_x = 8,5 \text{ kg/día}$.
 - $\text{CO}_2 = 42,5 \text{ kg/día}$.
 - $\text{SO}_x = 2,4 \text{ m}^3/\text{día}$ (bajo condiciones normales de temperatura y presión).
- El gas emitido, asociado a olores, es el ácido sulfídrico (H_2S), el cual será generado en dos lugares de la planta de tratamiento a saber:

Edificio de pretratamiento: volumen del recinto = 5 630 m^3 , área = 1 400 m^2 . Este recinto tendrá volumen de ventilación de 1 100 m^3/min , con intercambio de aire de 12 veces. La cantidad de H_2S a ser tratada será de 1 901 kg/día (20,0 ppm de H_2S), lo cual produciría un flujo de salida del contaminante de 1,36 $\text{Kg/m}^2.\text{día}$ de H_2S . Mediante procedimientos químicos serán removidos 1 882 kg/día de H_2S (19,8 ppm de H_2S), emitiéndose a la atmósfera 19 kg/día de H_2S (0,20 ppm de H_2S), esta disminución de olores produce un flujo de salida del contaminante de 0,0157 $\text{g/m}^2.\text{s}$.

Edificio de tratamiento de lodos: volumen del recinto = 9 800 m^3 , área = 1 600 m^2 . Este recinto tendrá volumen de ventilación de 2 000 m^3/min , con intercambio de aire de 12 veces. La cantidad de H_2S a ser tratada será de 3 456 kg/día (20,0 ppm de H_2S), lo cual produciría un flujo de salida del contaminante de 2,12 $\text{Kg/m}^2.\text{día}$ de H_2S . Mediante procedimientos

químicos serán removidos 3 421 kg/día de H₂S (19,8 ppm de H₂S), emitiéndose a la atmósfera 35 kg/día de H₂S (0,20 ppm de H₂S), esta disminución de olores produce un flujo de salida del contaminante de 0,0245 g/m².s.

3. DATOS METEOROLÓGICOS SUMINISTRADOS POR LA EMPRESA DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA S.A. (ETESA)

La estación meteorológica de ubicada en Tocumen nos reporta los siguientes datos para los últimos 10 años (1995 a 2005).

- Humedad relativa mensual máxima de los últimos 10 años: 89,0 % (se toma el valor máximo ya que mientras mayor sea la humedad relativa ambiental, mayor será la propagación del contaminante).
- Temperatura mensual máxima de los últimos 10 años: 29,0 °C (se toma el valor máximo ya que mientras mayor sea la temperatura ambiente, mayor será la propagación del contaminante).
- Rapidez media mensual máxima del viento de los últimos 10 años a la altura de 10 m: 2,4 m/s (se toma el valor máximo ya que mientras mayor se la rapidez del viento, mayor será propagación de del contaminante).

4. PARÁMETROS PARA EL MODELAJE DE LA DISPERSIÓN DE GASES EN LA ATMÓSFERA

4.1. Parámetros meteorológicos

Temperatura: es la temperatura del aire del medio estudiado. En vista que la dispersión de los gases en el aire aumenta con la temperatura, que el valor mensual máximo para los últimos 10 años es de 29,0 °C, y que modelaremos para el peor escenario posible, usaremos para nuestra simulación la temperatura ambiente de 30,0 °C (303 K).

Humedad relativa: Tomando en cuenta que la humedad relativa mensual máxima registrada en la estación meteorológica de Tocumen fue de 89,0 %, que el lugar del emplazamiento se trata de humedales y manglares, que la dispersión de los gases aumenta con a medida que aumenta la humedad relativa, y que modelaremos para el peor escenario posible, usaremos para nuestro simulación la humedad relativa ambiental de 100,0 %.

Rapidez viento: Debido a que la altura de la chimenea es de 10 m , utilizaremos como velocidad a la altura de la chimenea el valor mensual medio máximo reportado por ETESA, es decir 2,4 m/s.

Dirección del viento: en vista que modelaremos para el caso más desfavorable para los vecinos más próximos de la planta depuradora, supondremos un viento que sopla en dirección hacia el residencial Costa del Este.

4.2. Otros parámetros del modelo matemático.

Parámetro de estabilidad atmosférica de (K) de Pasquill-Gifford: nos indica los estable o no de la atmósfera: En nuestro, modelo supondremos insolación fuerte, lo que fija el valor de K = 1.

Tomando en cuenta que el emplazamiento de la futura planta de tratamiento se encuentra en una región de manglares, se asumirá un ambiente rural con altura de la capa límite de 250 m.

Los valores del flujo de salida de los contaminantes para el caso de la chimenea utilizaremos en g/s, lo que corresponde a:

- NO_x = 0,098 g/s.
- CO₂ = 0,492 g/s.
- SO_x = 0,082 g/s.

Para el contaminante asociado a olores, el flujo del contaminante estará dado en g/m².s. En vista que modelares para dos condiciones estos valores de flujo serán:

Condición Norma:

Edificio de pretratamiento: 1,57x10⁻⁴ g/m².s , con un área de 1 400 m².

Edificio de tratamiento de lodos: 2,45x10⁻⁴ g/m².s , con un área de 1 600 m².

Condición Crítica:

Edificio de pretratamiento: 0,0157 g/m².s , con un área de 1 400 m².

Edificio de tratamiento de lodos: 0,0245 g/m².s , con un área de 1 600 m².

Nuestro modelo matemático de difusión de los gases en la atmósfera, es el denominado modelo Gaussiano. En este modelo la distribución de la concentración (C) del contaminante en la atmósfera (masa/volumen) esta dada por la siguiente ecuación:

$$C(X, Y, X, H) = \frac{Q}{V \sqrt{2\pi\sigma_Y}} \exp\left[-\frac{Y^2}{2\sigma_Y^2}\right] \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_Z}} \left\langle \exp\left[-\frac{(H-Z)^2}{2\sigma_Z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(H+Z)^2}{2\sigma_Z^2}\right] \right\rangle + \sum_{N=1}^{N=J} \left\langle \exp\left[-\frac{(2N_{Z_i} - H - Z)^2}{2\sigma_Z^2}\right] + \exp\left[\frac{(2N_{Z_i} + H - Z)^2}{2\sigma_Z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(2N_{Z_i} - H + Z)^2}{2\sigma_Z^2}\right] + \exp\left[\frac{(2N_{Z_i} + H + Z)^2}{2\sigma_Z^2}\right] \right\rangle$$

Donde:

X = a la dirección del viento.

Y, Z = son las direcciones perpendiculares, trasversal y vertical respectivamente.

Q = la intensidad de emisión de la fuente.

V = rapidez del viento a la altura efectiva de la chimenea.

Z_i = la altura de la capa de mezcla.

$\sum_{N=1}^{N=J}$ = tiene en cuenta la contribución a la concentración debida a la reflexiones

del penacho en el suelo y en la base de la inversión.

H = altura de la chimenea.

5. AREA DE ESTUDIO

Ubicación espacial para la modelación y estudio de dispersión de contaminantes atmosféricos. El punto inferior izquierdo, de la foto representa el origen de coordenadas ($X = 0$, $Y = 0$).



6. RESULTADOS

A continuación presentamos los resultados de la modelación de dispersión de los gases que van a ser emitidos por el funcionamiento de la planta depuradora.

6.1. MODELACIÓN DEL NO_x EMITIDO POR EL GENERADOR.

En la Tabla 1 se resumen los valores de la concentración modelada para el gas NO_x, que va a ser emitido por la planta depuradora. Estos valores fueron calculados para diferentes coordenadas del área bajo estudio.

Tabla 1: Valores de NO_x modelado.

| EJE DE COORDENADAS | | PARÁMETRO |
|--------------------|-------|--------------------------------------|
| X (m) | Y (m) | NO _x (µg/m ³) |
| 2 413 | 0 | 0,0 |
| 4 350 | 0 | 0,0 |
| 2 796 | 88 | 0,0 |
| 690 | 102 | 0,0 |
| 144 | 116 | 0,0 |
| 3 493 | 684 | 0,0 |
| 690 | 690 | 0,1 |
| 1 723 | 690 | 0,1 |
| 2 796 | 697 | 0,0 |
| 1 723 | 1 094 | 0,2 |
| 2 413 | 1 094 | 0,7 |
| 2 857 | 1 107 | 14,6 |
| 0 | 1 114 | 0,1 |
| 2 509 | 1 114 | 1,1 |
| 2 639 | 1 114 | 2,5 |
| 2 700 | 1 114 | 4,0 |
| 2 720 | 1 114 | 7,1 |
| 2 871 | 1 114 | 36,0 |
| 3 000 | 1 114 | 0,0 |
| 20 | 1 155 | 0,1 |
| 690 | 1 176 | 0,1 |
| 2 970 | 1 207 | 0,0 |
| 690 | 1 394 | 0,1 |
| 2 796 | 1 395 | 0,0 |
| 1 723 | 1 401 | 0,1 |
| 3 493 | 1 401 | 0,0 |
| 690 | 1 812 | 0,0 |
| 1 723 | 2 092 | 0,0 |
| 2 970 | 2 092 | 0,0 |
| 3 493 | 2 803 | 0,0 |
| 690 | 2 823 | 0,0 |
| 20 | 2 980 | 0,1 |
| 0 | 4 350 | 0,0 |
| 2 970 | 4 350 | 0,0 |
| 4 350 | 4 350 | 0,0 |

El valor límite permitido por la OMS para NO_x = 150 µg/m³.

Las figuras 1, 2 y 3 muestran las variaciones de la concentración de NO_x con la distancia a la fuente. El perfil de variación de la concentración mostrado en la Figura 1, fue calculada para el valor de la coordenada Y de máxima concentración ($Y = 1\ 114\ \text{m}$).

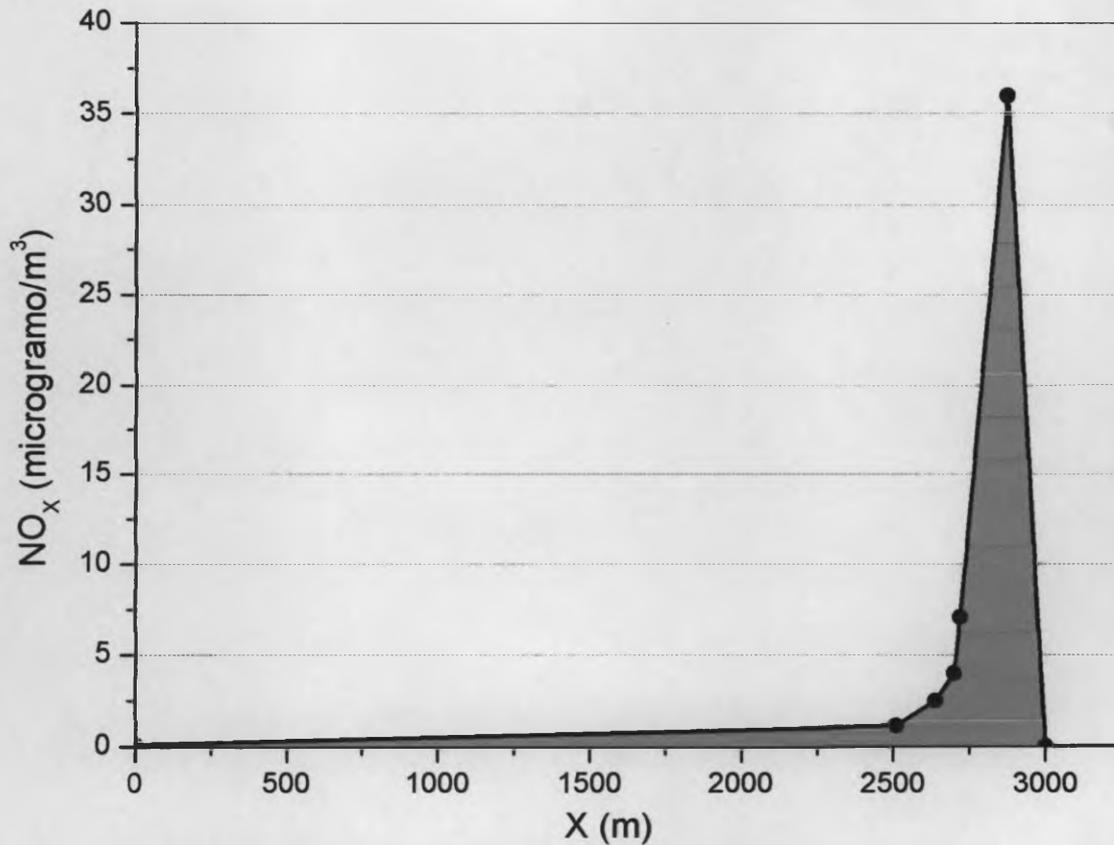


Fig. 1. Modelación de la dispersión de NO_x , en $Y = 1\ 114\ \text{m}$.

La dispersión de NO_x presenta un pico que se eleva hasta los $36\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ en $X = 2\ 871\ \text{m}$., para luego descender rápidamente la concentración en los primeros 305 m, a 5,0 % de su valor máximo, y a partir de este punto mostrar una reducción paulatino que va de $1,8\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $0,1\ \mu\text{g}/\text{m}^3$.

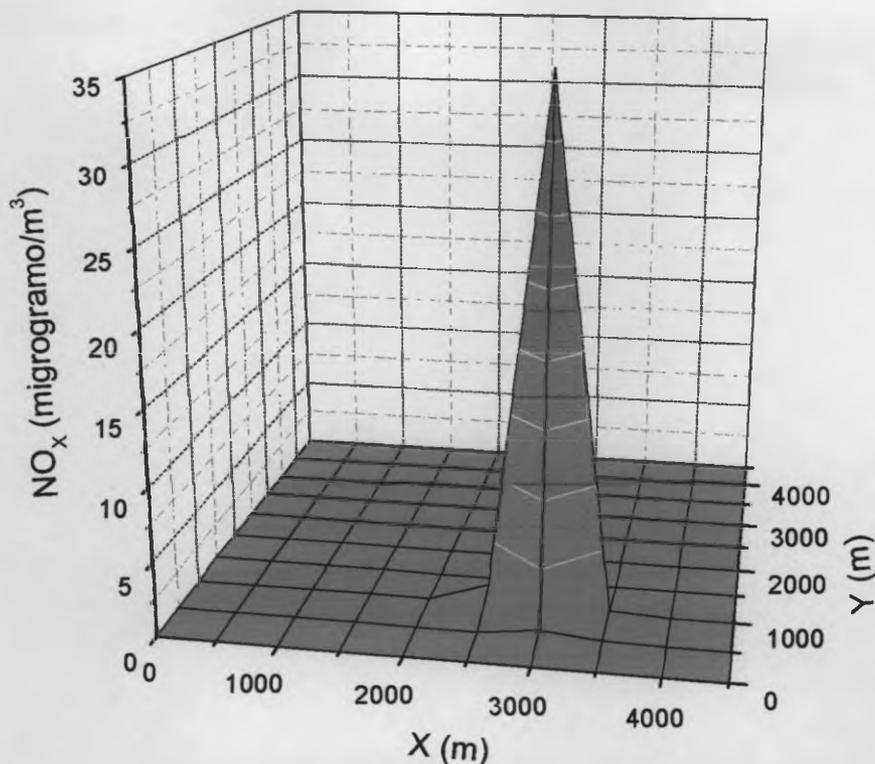


Fig. 2. Modelación de la dispersión de NO_x.

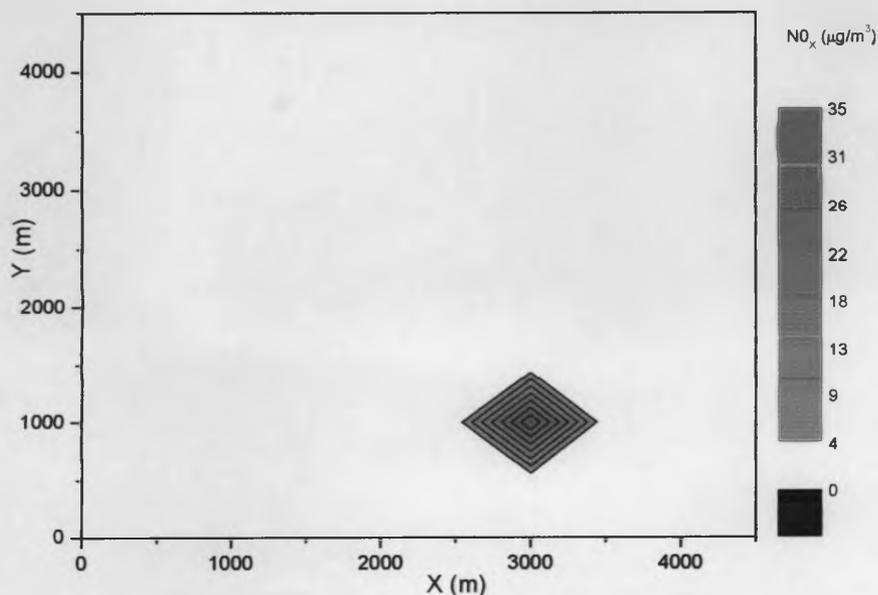


Fig. 3. Modelación de la dispersión de NO_x.

Las tonalidades en rojo, en la figura 2 y 3, presentan un pico de concentración de NO_x que apuntan hacia los 35 μg/m³, correspondiendo este máximo con la coordenada X próximo a los 3 000 m y la coordenada Y próxima a los 1 000 m.

6.2 MODELACIÓN DE LA DISPERSIÓN DEL CO₂.

La Tabla 2 presenta los valores de la concentración modelada para el gas CO₂, que va ser emitido por la planta depuradora. Los valores de concentración se encuentran asociados a sus correspondientes coordenadas del área bajo estudio.

Tabla 2. Valores de CO₂ modelado.

| EJE DE COORDENADAS | | PARAMETRO |
|--------------------|-------|--------------------------------------|
| X (m) | Y (m) | CO ₂ (µg/m ³) |
| 82 | 116 | 0,1 |
| 3 130 | 116 | 0,0 |
| 684 | 725 | 0,5 |
| 2 084 | 909 | 1,2 |
| 2 467 | 909 | 2,4 |
| 2 905 | 971 | 0,0 |
| 13 | 1 107 | 0,6 |
| 1 401 | 1 107 | 1,0 |
| 2 105 | 1 107 | 1,7 |
| 2 488 | 1 107 | 5,4 |
| 2 645 | 1 107 | 12,3 |
| 2 700 | 1 107 | 20,1 |
| 2 761 | 1 107 | 35,5 |
| 2 857 | 1 107 | 73,2 |
| 2 925 | 1 107 | 180,5 |
| 2 932 | 1 107 | 0,0 |
| 2 721 | 1 018 | 14,5 |
| 2 932 | 1 087 | 0,0 |
| 2 932 | 1 127 | 0,0 |
| 2 721 | 1 183 | 14,5 |
| 2 905 | 1 203 | 0,0 |
| 2 084 | 1 244 | 1,2 |
| 2 467 | 1 244 | 2,4 |
| 3 130 | 1 387 | 0,0 |
| 684 | 1 408 | 0,5 |
| 2 091 | 2 345 | 0,0 |

Las figuras 4, 5 y 6 muestran las variaciones de la concentración de CO_2 en función de las coordenadas espaciales. El perfil de variación de la concentración mostrado en la Figura 4, fue calculado para el valor de la coordenada Y de máxima concentración ($Y = 1\ 107\ \text{m}$).

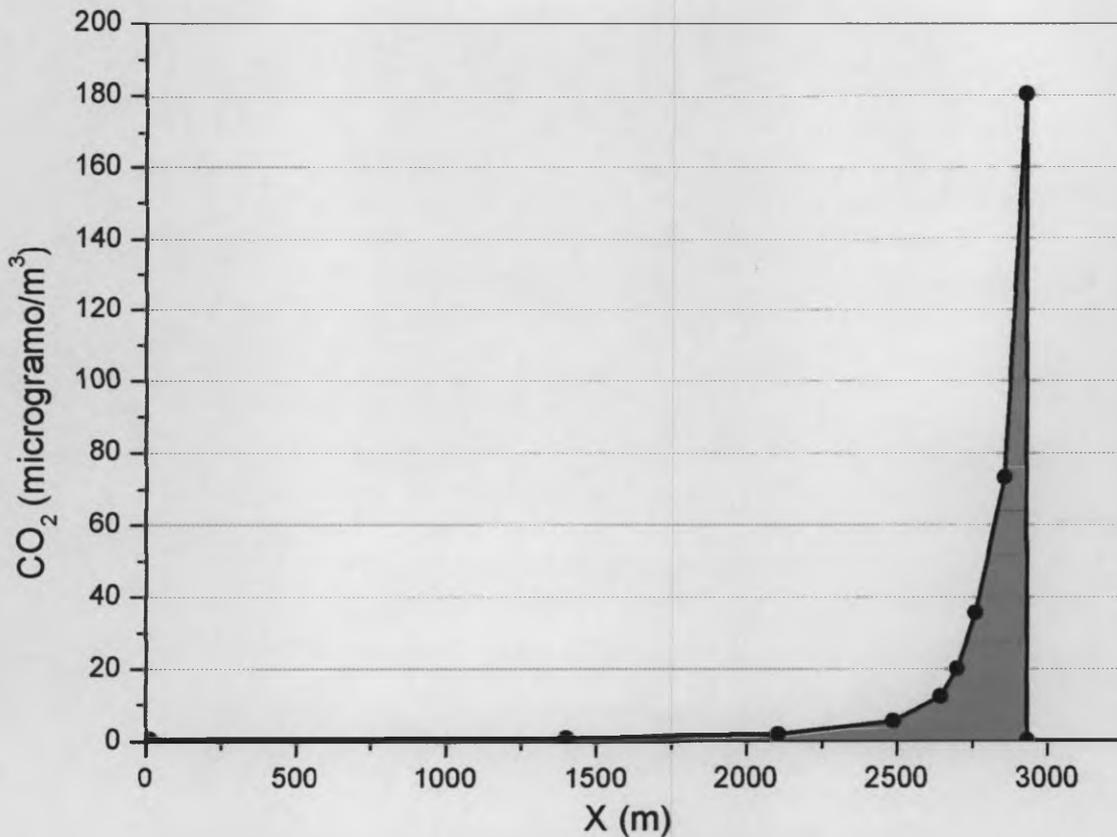


Fig. 4. Modelación de la dispersión del CO_2 , en $Y = 1\ 107\ \text{m}$.

La dispersión de CO_2 presenta un pico que se eleva hasta los $180\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ en $X = 2\ 925\ \text{m}$, para luego descender rápidamente la concentración en los primeros $352\ \text{m}$ a $5,0\ \%$ de su valor máximo, y a partir de este punto mostrar una reducción paulatina que va de $9,0\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $0,6\ \mu\text{g}/\text{m}^3$.

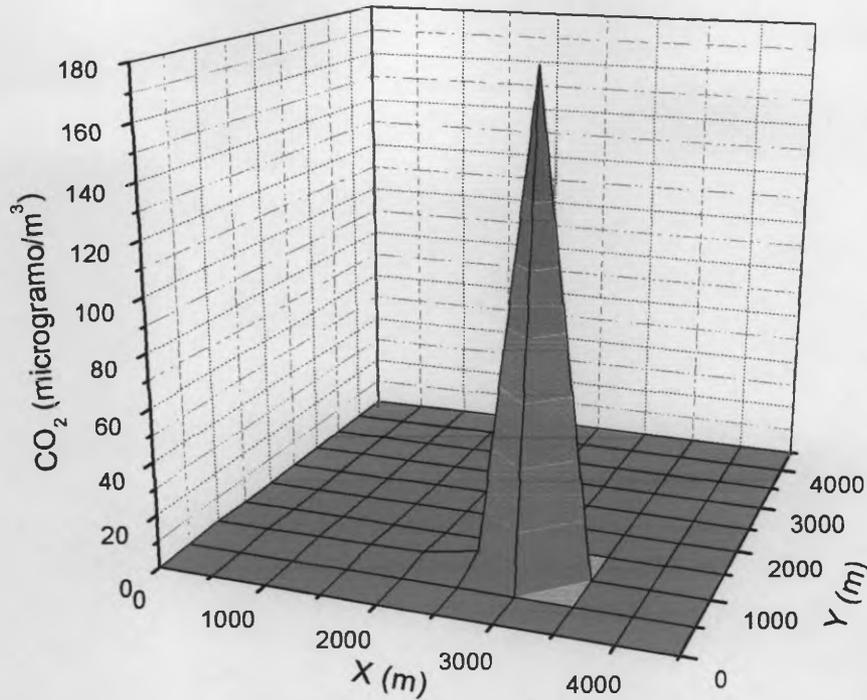


Fig. 5. Modelación de la dispersión del CO₂.

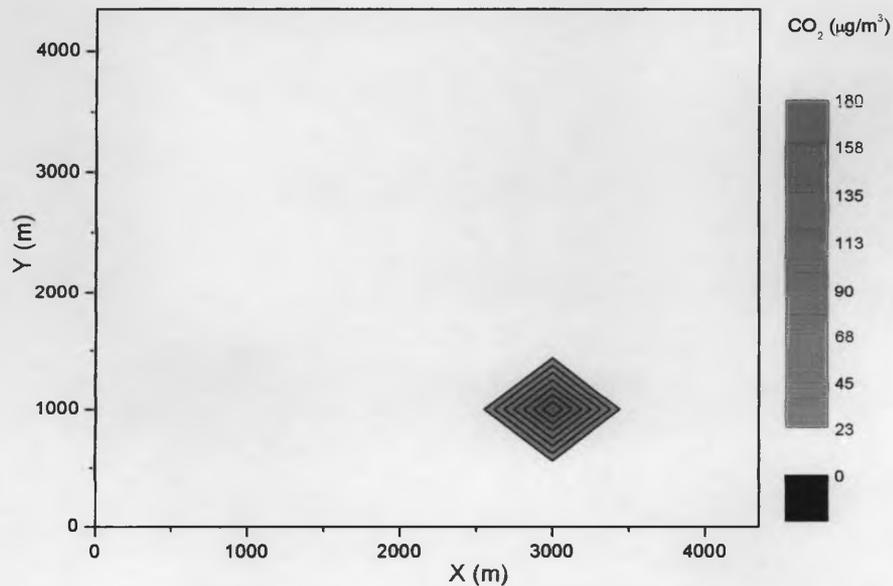


Fig. 6. Modelación de la dispersión del CO₂.

Las tonalidades en rojo, en las figuras 5 y 6, muestran un pico de concentración de NO_x que apuntan hacia los 180 µg/m³, correspondiendo este máximo con la coordenada X próxima a los 3 000 m y la coordenada Y próxima a los 1 000 m.

6.3. MODELACIÓN DE DISPERSIÓN DE SO_x

La Tabla 3 resume los valores de la concentración modelada para el gas SO_x, que va ser emitido por la planta depuradora. Estos valores fueron calculados para diferentes coordenadas del área bajo estudio.

Tabla 3. Valores de SO_x modelado

| EJE DE COORDENADAS | | PARÁMETRO |
|--------------------|-------|--------------------------------------|
| X (m) | Y (m) | SO _x (µg/m ³) |
| 0 | 0 | 0,0 |
| 500 | 0 | 0,0 |
| 0 | 500 | 0,0 |
| 500 | 500 | 0,0 |
| 0 | 1 000 | 0,1 |
| 500 | 1 000 | 0,1 |
| 1 000 | 1 000 | 0,1 |
| 1 500 | 1 000 | 0,2 |
| 2 000 | 1 000 | 0,2 |
| 2 500 | 1 000 | 0,7 |
| 3 000 | 1 000 | 0,0 |
| 0 | 1 094 | 0,1 |
| 500 | 1 094 | 0,1 |
| 1 000 | 1 094 | 0,1 |
| 1 500 | 1 094 | 0,2 |
| 2 000 | 1 094 | 0,2 |
| 2 500 | 1 094 | 0,9 |
| 2 646 | 1 094 | 2,1 |
| 2 707 | 1 094 | 3,3 |
| 2 774 | 1 094 | 5,9 |
| 2 851 | 1 094 | 12,1 |
| 2 919 | 1 094 | 29,4 |
| 3 000 | 1 094 | 0,0 |
| 0 | 1 188 | 0,0 |
| 500 | 1 188 | 0,1 |
| 1 000 | 1 188 | 0,1 |
| 1 500 | 1 188 | 0,2 |
| 2 000 | 1 188 | 0,2 |
| 2 500 | 1 188 | 0,6 |
| 3 000 | 1 188 | 0,0 |
| 0 | 1 500 | 0,0 |
| 500 | 1 500 | 0,0 |

Valor límite permitido por la OMS para SO_x = 125 µg/m³

Las figuras 7, 8 y 9 muestran las variaciones de la concentración de SO_x en función de las coordenadas espaciales. El perfil de variación de la concentración mostrado en la Figura 7, fue calculada para el valor de la coordenada Y de máxima concentración ($Y = 1\ 094\ \text{m}$).

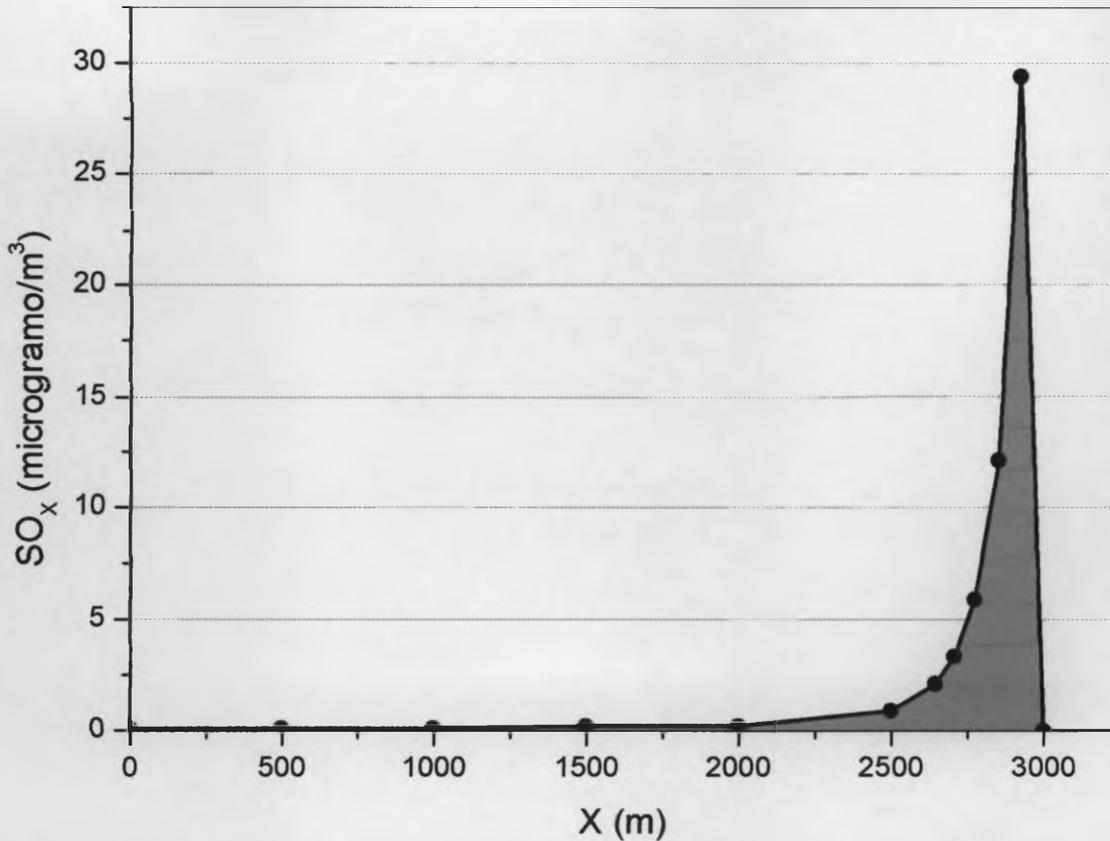


Fig. 7. Modelación de la dispersión del SO_x , en $Y = 1\ 094\ \text{m}$.

La dispersión de SO_x presenta un pico que se eleva hasta los $29,4\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ en $X = 2\ 919\ \text{m}$, para luego descender rápidamente la concentración a 5,0 % de su valor máximo en los primeros 357 m, y a partir de este punto mostrar una reducción paulatino que va de $1,5\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $0,1\ \mu\text{g}/\text{m}^3$.

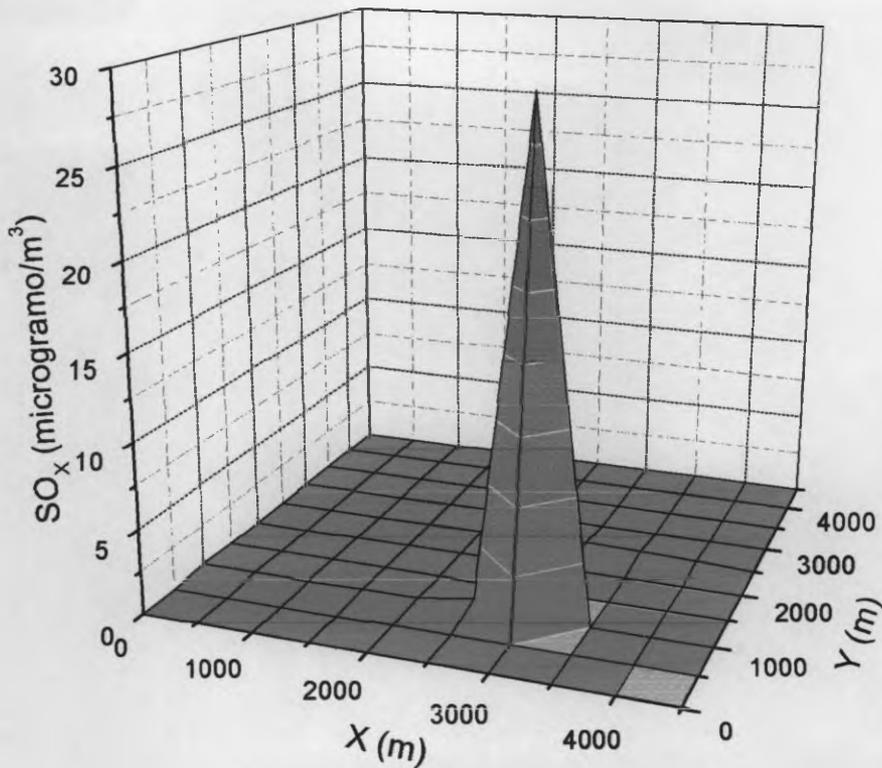


Fig. 8. Modelación de la dispersión del SO_x.

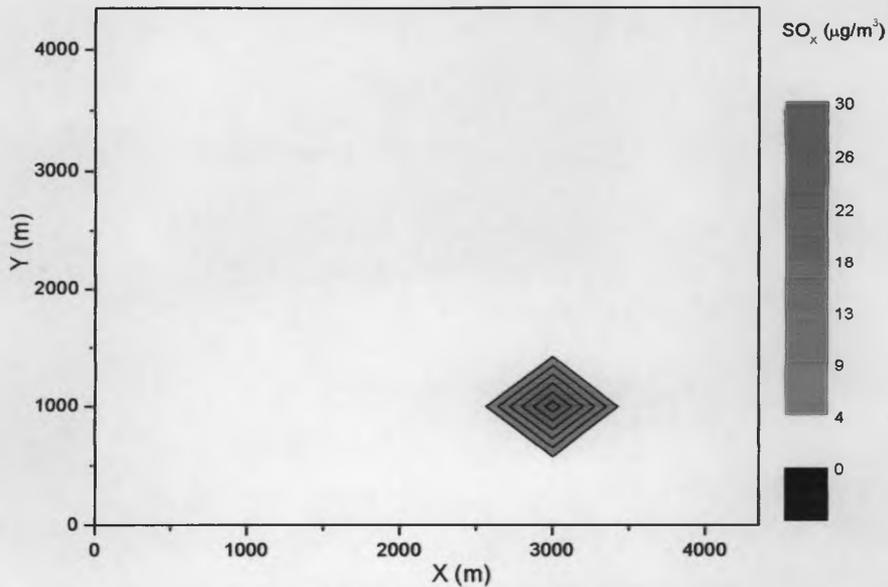


Fig. 9. Modelación de la dispersión del SO_x.

Las tonalidades en rojo, en las figuras 8 y 9, presentan un pico de concentración de SO_x que apuntan hacia los 29 μg/m³, correspondiendo este máximo con la coordenada X próximo a los 3 000 m y la coordenada Y próxima a los 1 000 m.

6.4. MODELACIÓN DE LA DISPERSIÓN DEL H₂S.

La Tabla 4 presenta los valores de la concentración modelada para el H₂S, que va ser emitido por la planta depuradora. Los valores de concentración se encuentran asociados a sus correspondientes coordenadas del área bajo estudio.

6.4.1. Condición de normal de los procedimientos de control de olores

Llamaremos a la condición normal de olores, cuando los procesos químicos de reducción de olores esté funcionando correctamente.

Tabla 4. Valores de H₂S modelado

| EJE DE COORDENADAS | | PARAMETRO | |
|--------------------|-------|---------------------------------------|------------------------|
| X (m) | Y (m) | H ₂ S (µg/m ³) | H ₂ S (ppm) |
| 0 | 0 | 0,1 | 0,000 |
| 500 | 0 | 0,2 | 0,000 |
| 1 000 | 0 | 0,0 | 0,000 |
| 0 | 500 | 1,4 | 0,001 |
| 500 | 500 | 1,1 | 0,000 |
| 1 000 | 500 | 0,9 | 0,000 |
| 1 500 | 500 | 0,5 | 0,000 |
| 2 000 | 500 | 0,1 | 0,000 |
| 4 350 | 500 | 0,0 | 0,000 |
| 0 | 1 000 | 2,0 | 0,001 |
| 500 | 1 000 | 2,6 | 0,002 |
| 1 000 | 1 000 | 3,1 | 0,002 |
| 1 500 | 1 000 | 3,9 | 0,003 |
| 2 000 | 1 000 | 5,2 | 0,004 |
| 2 500 | 1 000 | 13,9 | 0,010 |
| 3 000 | 1 000 | 0,0 | 0,000 |
| 0 | 1 039 | 2,2 | 0,002 |
| 1 141 | 1 039 | 3,3 | 0,002 |
| 1 934 | 1 039 | 4,9 | 0,004 |
| 2 324 | 1 039 | 7,0 | 0,005 |
| 2 570 | 1 039 | 18,0 | 0,013 |
| 2 830 | 1 039 | 26,6 | 0,019 |
| 0 | 1 121 | 2,3 | 0,002 |
| 500 | 1 121 | 2,7 | 0,002 |
| 1 000 | 1 121 | 3,2 | 0,002 |
| 1 500 | 1 121 | 4,1 | 0,003 |
| 2 000 | 1 121 | 5,8 | 0,004 |
| 2 500 | 1 121 | 19,9 | 0,014 |
| 2 646 | 1 121 | 42,8 | 0,031 |
| 2 823 | 1 121 | 195,8 | 0,141 |
| 2 925 | 1 121 | 631 | 0,454 |
| 3 000 | 1 121 | 0,0 | 0,000 |
| 0 | 1 210 | 2,3 | 0,002 |
| 806 | 1 210 | 2,8 | 0,002 |
| 1 565 | 1 210 | 4,0 | 0,003 |
| 2 187 | 1 210 | 5,4 | 0,004 |
| 2 385 | 1 210 | 10,3 | 0,007 |
| 2 727 | 1 210 | 32,9 | 0,024 |
| 0 | 1 500 | 1,8 | 0,001 |
| 500 | 1 500 | 1,9 | 0,001 |
| 1 000 | 1 500 | 1,9 | 0,001 |
| 1 500 | 1 500 | 1,8 | 0,001 |
| 2 000 | 1 500 | 1,1 | 0,001 |
| 2 500 | 1 500 | 0,1 | 0,000 |
| 3 000 | 1 500 | 0,0 | 0,000 |
| 0 | 2 000 | 0,9 | 0,000 |
| 500 | 2 000 | 0,4 | 0,000 |
| 1 000 | 2 000 | 0,2 | 0,000 |
| 1 500 | 2 000 | 0,1 | 0,000 |
| 2 000 | 2 000 | 0,0 | 0,000 |

Las figuras 10, 11 y 12 muestran las variaciones de la concentración de H_2S en función de las coordenadas espaciales. El perfil de variación de la concentración mostrado en la Figura 10, fue calculada para el valor de la coordenada Y de máxima concentración ($Y = 1\ 121\ m$).

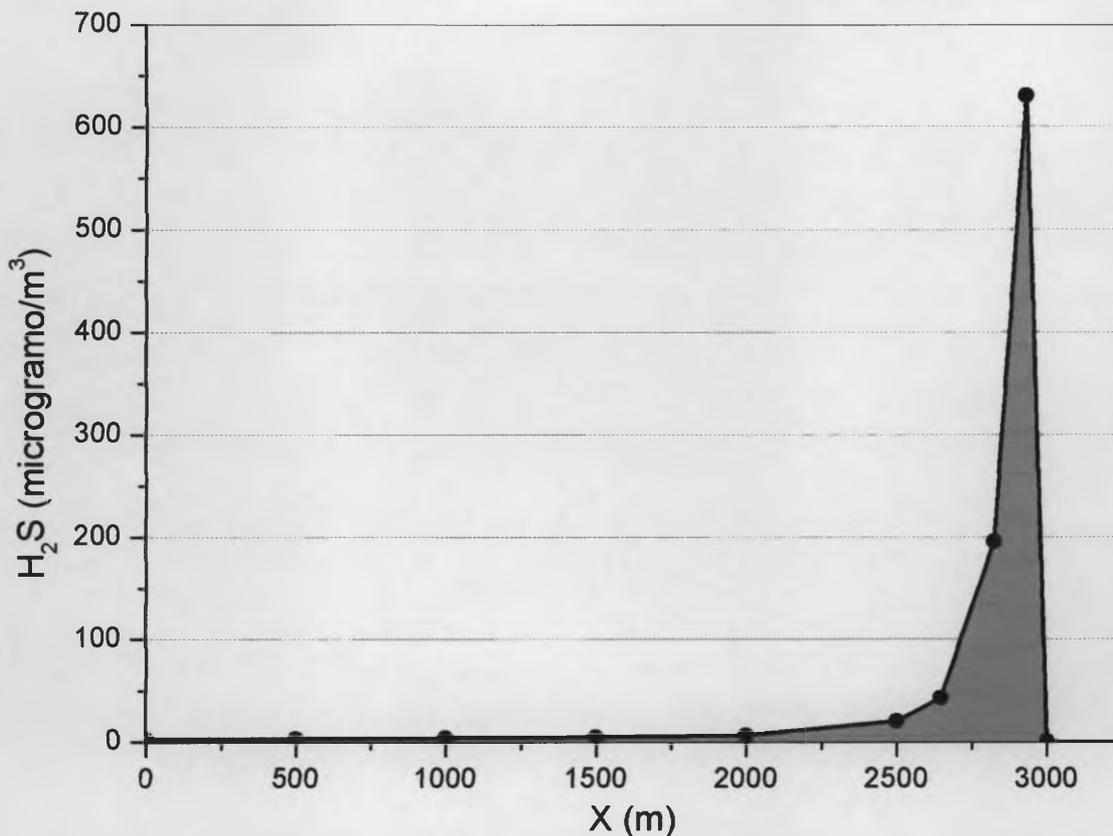


Fig. 10. Modelado de la dispersión del H_2S , bajo condiciones normales, en $Y = 1\ 121\ m$.

La dispersión de H_2S presenta un pico que se eleva hasta los $631\ \mu g/m^3$ en $X = 2\ 925\ m$, para luego descender rápidamente la concentración a 5,0 % de su valor máximo en los primeros 362 m, y a partir de este punto mostrar una reducción paulatino que va de $30\ \mu g/m^3$ a $2,3\ \mu g/m^3$.

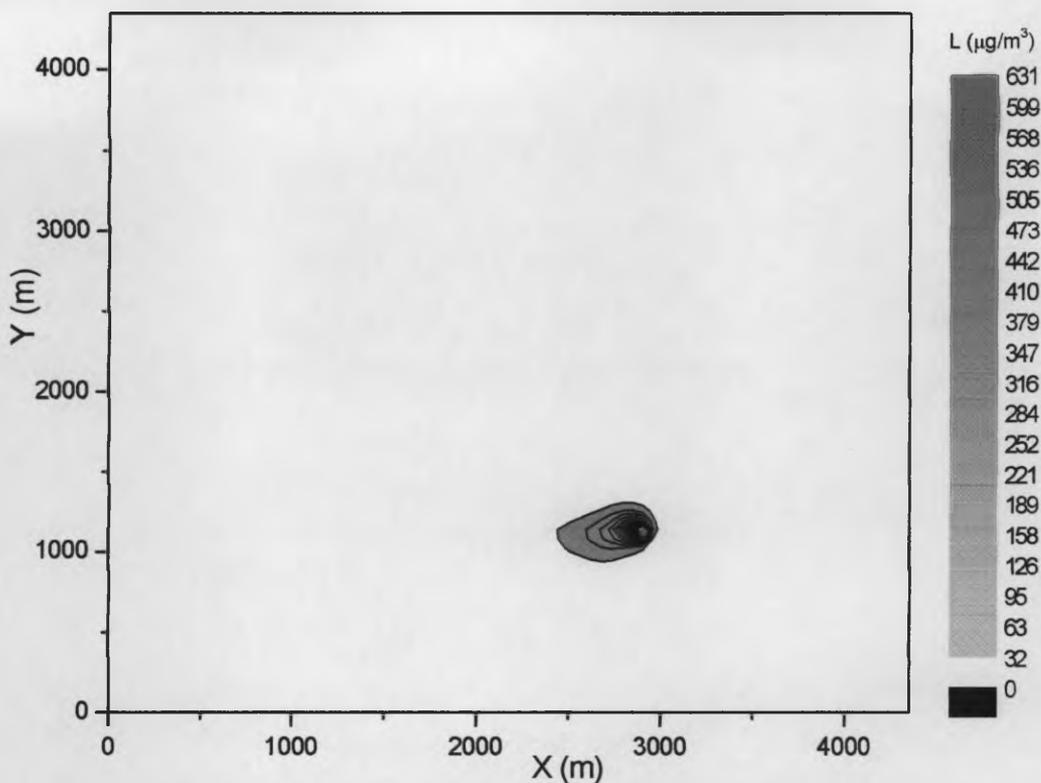


Fig. 11. Modelado de la dispersión de H₂S, bajo condiciones normales.

Las tonalidades en rojo, en las figuras 8 y 8, presentan un pico de concentración de SO_x que apuntan hacia los 631 µg/m³, correspondiendo este máximo con la coordenada X próximo a los 3 000 m y la coordenada Y próxima a los 1 000 m.



Fig. 12. Modelación de la dispersión del H₂S, en condiciones normales.

El modelo predictivo superpuesto en el mapa satelital, encierra los límites amarillo, los valores en que la concentración está por arriba de $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de H₂S. Bajo condiciones normal de operaciones, el efecto de los olores se proyecta de manera puntual a la zona de construcción de la planta

6.4.2. Condición de mal funcionamiento de los procesos químicos de control de olores.

La Tabla 5 resume los valores de la concentración modelada para el H₂S, que va ser emitido por la planta depuradora. Estos valores fueron calculados para diferentes coordenadas del área bajo estudio. Estos datos fueron generados para un viento soplando el dirección Este (hacia el residencial costa del Este), con una rapidez de 2,2 m/s.

Tabla 5. Valores de H₂S modelado

| EJE DE COORDENADAS | | PARÁMETRO | |
|--------------------|-------|---------------------------------------|------------------------|
| X (m) | Y (m) | H ₂ S (µg/m ³) | H ₂ S (ppm) |
| 0 | 0 | 20 | 0,014 |
| 500 | 0 | 20 | 0,014 |
| 2 000 | 0 | 0 | 0,000 |
| 0 | 500 | 28 | 0,020 |
| 500 | 500 | 115 | 0,082 |
| 1 000 | 500 | 94 | 0,067 |
| 1 500 | 500 | 54 | 0,039 |
| 2 000 | 500 | 10 | 0,007 |
| 2 500 | 500 | 0 | 0,000 |
| 0 | 957 | 219 | 0,150 |
| 725 | 957 | 264 | 0,193 |
| 1 401 | 957 | 338 | 0,243 |
| 1 969 | 957 | 412 | 0,296 |
| 2 208 | 957 | 427 | 0,307 |
| 0 | 1 000 | 160 | 0,115 |
| 500 | 1 000 | 259 | 0,186 |
| 1 000 | 1 000 | 311 | 0,223 |
| 1 500 | 1 000 | 389 | 0,279 |
| 2 000 | 1 000 | 517 | 0,371 |
| 2 500 | 1 000 | 1 391 | 1,000 |
| 3 000 | 1 000 | 0 | 0,000 |
| 403 | 1 114 | 142 | 0,102 |
| 1 244 | 1 114 | 199 | 0,143 |
| 1 784 | 1 114 | 276 | 0,199 |
| 2 119 | 1 114 | 370 | 0,266 |
| 2 358 | 1 114 | 562 | 0,404 |
| 2 488 | 1 114 | 2 118 | 1,524 |
| 2 618 | 1 114 | 2 407 | 1,732 |
| 2 775 | 1 114 | 5 988 | 4,308 |
| 2 850 | 1 114 | 11 004 | 7,917 |
| 2 926 | 1 114 | 35 471 | 25,519 |
| 2 932 | 1 114 | 0 | 0,000 |
| 0 | 1 271 | 219 | 0,157 |
| 970 | 1 271 | 283 | 0,203 |
| 2 201 | 1 271 | 427 | 0,307 |
| 2 707 | 1 271 | 519 | 0,373 |
| 0 | 1 500 | 141 | 0,101 |
| 500 | 1 500 | 187 | 0,134 |
| 1 000 | 1 500 | 192 | 0,138 |
| 1 500 | 1 500 | 177 | 0,127 |
| 2 000 | 1 500 | 106 | 0,076 |
| 2 500 | 1 500 | 8 | 0,006 |
| 3 000 | 1 500 | 0 | 0,000 |
| 0 | 2 000 | 46 | 0,033 |
| 500 | 2 000 | 43 | 0,031 |
| 1 000 | 2 000 | 22 | 0,015 |
| 1 500 | 2 000 | 5 | 0,004 |
| 2 000 | 2 000 | 0 | 0,000 |

Las figuras 13, 14 y 15 muestran las variaciones de la concentración de H_2S en función de las coordenadas espaciales. El perfil de variación de la concentración mostrado en la Figura 13, fue calculado para el valor de la coordenada Y de máxima concentración ($Y = 1\ 114\ m$).

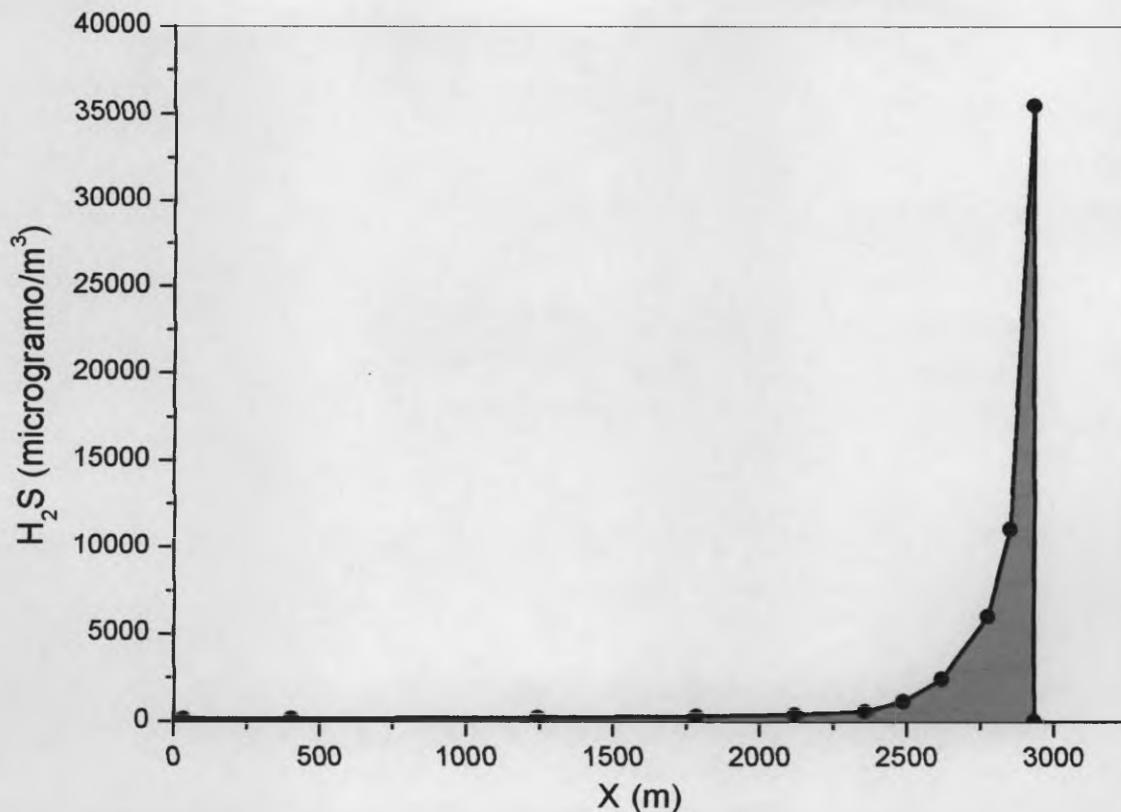


Fig. 13. Modelación de la dispersión de H_2S , en condición extrema, para $Y = 1\ 114\ m$.

La dispersión de H_2S presenta un pico que se eleva hasta los $35\ 471\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ en $X = 2\ 926\ m$, para luego descender rápidamente la concentración a 5,0 % de su valor máximo en los primeros 370 m, y a partir de este punto mostrar una reducción paulatino que va de $1\ 773\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $130\ \mu\text{g}/\text{m}^3$.



Fig. 15. Modelación de dispersión de H₂S, en condiciones extremas.

El modelo predictivo superpuesto en la imagen de satelital limita las concentraciones de H₂S (isolínea en amarillo) hasta un área próxima al residencial de Costa del Este, para el caso de un evento extremo, y que la rapidez del viento de 2,2 m/s.