



Universidad Nacional

SAN LUIS GONZAGA



Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional

Esta licencia permite a otras combinar, retocar, y crear a partir de su obra de forma no comercial, siempre y cuando den crédito y licencia a nuevas creaciones bajo los mismos términos.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0>



FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y PETROQUÍMICA
UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS GONZAGA
EVALUACIÓN DE ORIGINALIDAD

CONSTANCIA

El que subscribe, deja constancia que se ha realizado el análisis con el software de verificación de similitud al documento cuyo título es:

"INFLUENCIA DEL RECICLAJE DEL PLÁSTICO POR MÉTODOS TÉRMICOS EN LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA DEL ENTORNO DONDE SE LOCALIZA LA PLANTA"

Presentado por:

Bach. MONTESINOS QUISPE LUÍS ÁNGEL

Autor de la Tesis del nivel de **PREGRADO** de la Facultad de **INGENIERÍA QUÍMICA Y PETROQUÍMICA**. El Resultado obtenido es 2% (PORCENTAJE DE SIMILITUD) por lo cual, se otorga el calificativo de:

APROBADO, según Reglamento de Evaluación de la Originalidad.

Se adjunta al presente el reporte de evaluación con el software de verificación de originalidad.

Observaciones:

El porcentaje de similitud es menor del 20%, establecido como máximo por Reglamento de Evaluación de originalidad.

Ica, 01 de Julio de 2025

Nº de Recibo: 20162680

 UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS GONZAGA

Dr. FERNANDO EDUARDO CANO LEGUA
DIRECTOR DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN
DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y PETROQUÍMICA

UNIVERSIDAD NACIONAL “SAN LUÍS GONZAGA”

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y PETROQUÍMICA



Tesis:

"Influencia del reciclaje del plástico por métodos térmicos en la contaminación atmosférica del entorno donde se localiza la planta"

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico

Línea de investigación: Ciencias naturales, ingeniería y tecnologías sostenibles.

AUTOR: MONTESINOS QUISPE LUIS ÁNGEL

ASESOR: Mag. JORGE ESPINOZA LA ROSA

ICA – PERÚ

2025

DEDICATORIA.

En profundo agradecimiento a mis queridos padres y tíos, Guido Valencia y Edita Quispe, quienes a lo largo de sus vidas me han inculcado la cultura del trabajo y estudio. Su dedicación y esfuerzo constante para asegurarme una educación, que es un regalo que valoro más allá de las palabras. Esta tesis es el testimonio de su sacrificio, amor y un recordatorio constante de la importancia del trabajo duro y educación en nuestras vidas.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad San Luis Gonzaga de la facultad de Ingeniería Química por brindarme una educación y oportunidades que han moldeado mi futuro. Cada día en este campus ha sido una experiencia enriquecedora. Además, quiero reconocer el apoyo del Mag. Jorge ESPINOZA LA ROSA, cuya orientación y sabiduría han sido invaluable en cada etapa de este proyecto.

INDICE DE CONTENIDOS

	Pág.
PORTADA	01
DEDICATORIA	02
AGRADECIMIENTO	03
ÍNDICE DE CONTENIDOS	04
ÍNDICE DE TABLAS	05
ÍNDICE DE FIGURAS	06
RESUMEN	07
ABSTRACT	08
I. INTRODUCCIÓN	09
II. ESTRATEGIA METODOLOGICA	12
2.1. Antecedentes.	12
2.2. Marco teórico.	13
2.3. Marco conceptual.	30
2.4. Estrategia metodológica.	32
2.3. Desarrollo experimental.	32
III. RESULTADOS.	41
IV. DISCUSIÓN.	53
V. CONCLUSIONES	54
VI. RECOMENDACIONES.	55
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	56
VIII. ANEXOS.	57

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Mediciones durante el secado al sol de los plásticos.	41
Tabla 2. Mediciones durante el calentamiento a 40°C de los plásticos.	42
Tabla 3. Mediciones durante el calentamiento a 50°C de los plásticos.	43
Tabla 4. Mediciones durante el calentamiento a 60°C de los plásticos.	44
Tabla 5. Mediciones durante el calentamiento a 70°C de los plásticos	45
Tabla 6. Mediciones durante el calentamiento a 80°C de los plásticos	46
Tabla 7. Mediciones durante el calentamiento a 90°C de los plásticos	47
Tabla 8. Mediciones durante el calentamiento a 100°C de los plásticos	48
Tabla 9. Mediciones durante el calentamiento a 150°C de los plásticos	49
Tabla 10. Mediciones durante el calentamiento a 200°C de los plásticos	50
Tabla 11. Mediciones durante el calentamiento a 250°C de los plásticos	51
Tabla 12. Mediciones durante el calentamiento a 300°C de los plásticos	52

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Objetos hechos en material plástico.	13
Figura 2. Plástico termoestable.	14
Figura 3. Botellas hechas de material termoplástico.	16
Figura 4. Clasificación numérica de los materiales plásticos.	16
Figura 5. Símbolo de los plásticos elaborados con polietileno tereftalato.	17
Figura 6. Botellas con agua de mesa fabricadas con PET.	18
Figura 7. Plástico PET, composición y efectos en la salud.	19
Figura 8. Símbolo de los plásticos elaborados con polietileno de alta densidad.	19
Figura 9. Objetos elaborados con polietileno de alta densidad (HDPE)	20
Figura 10. Símbolo de los plásticos elaborados con vinilo o policloruro.	21
Figura 11. Objetos elaborados con plástico número 3.	21
Figura 12. Símbolo de los plásticos elaborados con polietileno de baja densidad.	22
Figura 13. Productos y material correspondiente al polietileno de baja densidad.	22
Figura 14. Bolsa fabricada con polietileno de baja densidad.	23
Figura 15. Símbolo de los plásticos elaborados con polipropileno.	23
Figura 16. Objetos fabricados con polipropileno.	24
Figura 17. Objetos elaborados con polipropileno.	24
Figura 18. Símbolo de los plásticos elaborados con poliestireno.	25
Figura 19. Objetos fabricados con el plástico poliestireno.	25
Figura 20. Símbolo de los plásticos elaborados con la mezcla Policarbonatos; poliamida, Poliuretano y Bisfenol-A.	26
Figura 21. Tacho elaborado con plástico N°7.	27
Figura 22. Molino eléctrico para pulverizar el plástico.	33
Figura 23. Plástico pulverizado.	33
Figura 24. Equipo ALTAIR 5X PID, multi gases.	34

RESUMEN

La tesis cuyo título es "**Influencia del reciclaje del plástico por métodos térmicos en la contaminación atmosférica del entorno donde se localiza la planta**", es un estudio teórico experimental, considerada dentro de las investigaciones aplicadas, es de nivel explicativo y de diseño experimental, cuyo objetivo ha sido determinar que durante el reciclaje de plásticos donde se aplican tratamientos térmicos se emiten diversos gases de efecto invernadero y compuestos orgánicos volátiles en diferentes concentraciones, que contaminan severamente la atmósfera puesto que la mayoría de estos gases son tóxicos y muchos de ellos cancerígenos. Para demostrar la hipótesis se realizaron ensayos experimentales en los cuales se trabajó con dos tipos de plásticos muy usados: el Polietileno tereftalato (PET) y al Polietileno de alta densidad (HDPE), los cuales fueron ensayados bajo las mismas condiciones de calor, estableciéndose que al aumentar la temperatura es mayor la emisión de gases como: el monóxido y dióxido de carbono, benceno, tolueno, xileno, acetaldehído, benzaldehído, benzoato de vinilo, acetaldehído y formaldehído. Se ha determinado que la concentración promedio de estos contaminantes es de 5,5 ppm de aromáticos y aldehídos, que son valores que están por encima de los valores límites permitidos.

Palabras claves: Plástico, reciclaje, contaminación atmosférica.

ABSTRACT

The thesis whose title is "Influence of plastic recycling by thermal methods on atmospheric pollution of the environment where the plant is located", is an experimental theoretical study, considered within applied research, it is of an explanatory level and of experimental design, whose The objective has been to determine that during the recycling of plastics where thermal treatments are applied, various greenhouse gases and volatile organic compounds are emitted in different concentrations, which severely contaminate the atmosphere since most of these gases are toxic and many of them carcinogens. To demonstrate the hypothesis, experimental tests were carried out in which two types of widely used plastics were worked: Polyethylene terephthalate (PET) and High Density Polyethylene (HDPE), which were tested under the same heat conditions, establishing that As the temperature increases, the emission of gases such as: carbon monoxide and dioxide, benzene, toluene, xylene, acetaldehyde, benzaldehyde, vinyl benzoate, acetaldehyde increases. and formaldehyde. It has been determined that the average concentration of these contaminants is 5.5 ppm of aromatics and aldehydes, which are values that are above the permitted limit values.

Keywords: Plastic, recycling, air pollution.

I. INTRODUCCIÓN

En muchos trabajos académicos se habla del reciclaje del plástico como una alternativa para solucionar los problemas ambientales generados por este producto, pero en la mayoría de esos estudios por no decir todos no se toma en cuenta la composición química del plástico y las sustancias químicas que se agregan durante su fabricación ya sea como solventes, como componentes o como aditivos, los cuales cuando se someten a calentamiento se desprenden del plástico como vapores o gases que pueden ser las mismas sustancias agregadas o productos de la descomposición térmica, pero independientemente de ello, casi todas ellas son sustancias tóxicas y altamente contaminantes para el medio ambiente sobre todo atmosférico. La medición de estas sustancias requiere de métodos instrumentales que desgraciadamente no se encuentran en todos los laboratorios, pero, sin embargo, hay equipos que pueden in situ cuantificar la concentración de algunos de ellos con alta precisión, específicamente de aquellos que exige sean analizados en los centros de trabajo ya que su presencia es altamente tóxica para el organismo humano. En este estudio se consideran los plásticos más comunes empleados en el reciclaje como son: el PET (tereftalato de polietileno), el HDPE (polietileno de alta densidad), el PVC (cloruro de polivinilo), el LDPE (polietileno de baja densidad), el PP (polipropileno) y el PS (poliestireno), empleados en la elaboración de todo tipo de envases incluso para alimentos.

Situación problemática.

La necesidad de controlar los desechos de plástico que día a día se acrecienta en miles de toneladas, a llevado a los investigadores e industriales a plantear la necesidad de reciclaje lo cual lejos de ser una solución a la contaminación, es más bien una forma de hacerla más agresiva ya que no solo genera microplástico, sino que descarga al medio ambiente sustancias químicas peligrosas que son parte de la composición del plástico o que se forman durante su procesamiento. Cuando al plástico a reciclarse se somete a altas temperaturas, por ejemplo, cuando se le calienta para licuarlo y obtener combustibles a partir de él o cuando se le calienta para darle una forma determinada, que puede ser ladrillos, utensilios de cocina, tejidos, etc., se desprende de la masa del plástico fundido, sustancias químicas altamente tóxicas y contaminantes, como las dioxinas, junto con ellas los compuestos químicos que se agregan al plástico en su fabricación como solventes, plastificantes, retardantes de llama, estabilizadores, etc. La mayoría de estas afectan al sistema endocrino, entre ellas están los bisfenoles, ftalatos, benzotriazoles estabilizadores de rayos UV, metales pesados, los compuestos orgánicos volátiles (COV), retardantes de llama bromados, los hidrocarburos policíclicos aromáticos (HAP), benceno, estirenos, microplásticos, carbón, etc. Los efectos que estas sustancias causan en el organismo humano son muchos entre ellos citaremos: ciertos tipos de cáncer, al sistema inmune, a los órganos sensoriales, hígado, riñones, sistema neurológico y reproductivo, al sistema respiratorio y producen diabetes. El conocimiento de la enorme contaminación que se produce durante el reciclaje del plástico nos lleva a

proponer la siguiente investigación en la que se evaluará la contaminación de la atmósfera de una planta de reciclaje.

Problema general.

¿El reciclaje del plástico por métodos térmicos influye en la contaminación atmosférica del entorno donde se localiza la planta?

Problemas específicos.

- ¿Cuál es la concentración promedio de compuestos orgánicos volátiles en la atmósfera de la zona aledaña a la planta de reciclaje?
- ¿Cuál es la concentración de gases de efecto invernadero en las zonas aledañas a la planta de reciclaje?

Objetivo general

Determinar la influencia del reciclaje del plástico por métodos térmicos en la contaminación atmosférica del entorno donde se localiza la planta.

Objetivos específicos.

- Determinar la concentración promedio de compuestos orgánicos volátiles en la atmósfera de la zona aledaña a la planta de reciclaje.
- Determinar la concentración de gases de efecto invernadero en las zonas aledañas a la planta de reciclaje.

Hipótesis.

Hipótesis general.

El reciclaje del plástico por métodos térmicos influye directamente en la contaminación atmosférica del entorno donde se localiza la planta.

Hipótesis específicas.

- La concentración promedio de compuestos orgánicos volátiles en la atmósfera de la zona aledaña a la planta de reciclaje, es alta
- La concentración de gases de efecto invernadero en las zonas aledañas a la planta de reciclaje es alta.

Variables:

Variable independiente:

Reciclaje del plástico por métodos térmicos.

Variable dependiente.

Contaminación atmosférica de la zona aledaña a la planta de reciclaje.

Justificación e importancia de la investigación.

Justificación teórica:

La presente investigación se justifica desde el punto de vista ecológico ya que aborda el tema de la contaminación química por plástico cuando este se somete a reciclaje a altas temperaturas lo que hace que los componentes del plástico (aditivos retardantes de llama, plastificantes, estabilizadores, gases de

combustión, etc.) se volatilicen descargándose a la atmósfera produciendo su contaminación gradual. Este estudio es importante porque trata de poner en aviso a las autoridades ambientales para que tomen las medidas correspondientes para prohibir el reciclaje en caliente del plástico por el peligro que representa para las poblaciones aledañas a las zonas donde hay una planta de reciclaje de plásticos

II. ESTRATEGIA METODOLÓGICA

2.1. Antecedentes.

Los antecedentes internacionales y nacionales que se han revisado para desarrollar la presente tesis son los siguientes:

A nivel internacional

E. Eljarrat [1] publicó en una revista científica española su artículo sobre la contaminación del plástico visto desde el punto de vista químico, en donde resalta la forma como la contaminación química de este producto poco a poco crece en el mundo de manera tal que no se le da importancia a pesar del gran peligro que representa para el futuro de la humanidad. En su artículo anota que existen más de 3 000 compuestos químicos que están relacionados con la producción de los materiales plásticos, de ellos las Agencias Ambientales han considerado a un número de 60 como los más peligrosos para la salud humana, como sustancias de alto riesgo para la salud ya que entre sus características se considera que son muy persistentes, tienen la capacidad de bioacumularse en el organismo, y además muy tóxicas. Entre estas sustancias cita: los bisfenoles, los ftalatos, los retardantes de llama y los metales pesados.

C. Giacobelli [2] en su artículo sobre la contaminación química del plástico, la cual hasta la fecha no se le da la importancia que merece por su peligrosidad y solo se habla del microplástico, como un contaminante del momento. El autor sostiene que los componentes del plástico (los componentes químicos) no afectan directamente al organismo humano, pero que su presencia en él lo predispone a una serie de enfermedades y deficiencias. Considera que estos producen una toxicidad crónica, es decir, sus efectos se agudizan en el tiempo y muchas de esas enfermedades no son reversibles. Ciertos compuestos químicos que se encuentran en los plásticos son disruptores endocrinos: tienen la capacidad de comportarse como las hormonas incluso cuando sus concentraciones son ínfimas pueden generar cambios graves a nivel celular (mutaciones). Las enfermedades que son el resultado de la interacción con los aditivos de alta toxicidad del plástico son el cáncer, infertilidad, enfermedades neurodegenerativas, obesidad, enfermedades cardiovasculares, problemas cognoscitivos.

A nivel nacional:

R. Huanaco [3] presentó su tesis donde aborda el estudio de la presencia de micro plástico en los sedimentos de las riberas del río Rímac, Su finalidad fue determinar la presencia de este en las riberas del río, determinando para ello ciertos puntos de muestreo y empleando para el reconocimiento del plástico un método de oxidación de la materia prima que luego se separar por diferencia de densidades. Como resultado del estudio se determinó que la concentración de este contaminante es cada vez mayor en las riberas del Río, cada año desde 2017 su concentración es más elevada. Según datos reportados en el año 2017 se determinó 538,9 MPs/m² de micro plástico y un año después (2018) la concentración aumento a 16 566,7

MPs/m². Los micro plásticos analizados pertenecen al poliestireno, polipropileno y polietileno-tereftalato.

K. Pinchi [4] Este trabajo evalúa la contaminación por plásticos en las playas del río Nanay situado al noroeste de la amazonia. La tesis es de tipo aplicada, de diseño no experimental, descriptivo, transversal, El micro plástico se reconoció y se separó a partir de la arena seca. El resultado de los ensayos permitió constatar la presencia de micro plástico en la rena, y en un alto porcentaje. En el estudio también se borda una parte experimental en la cual se exponen los métodos y materiales involucrados. El plástico se clasificó según su morfología, es decir, como fragmentos o como filamentos, las partículas en forma de filamento constituyen el 50.8% en la PP y el 76.9% en la PM.

Antecedentes locales.

La búsqueda de información sobre el tema en las universidades locales resultó nula.

2.2. Marco teórico.

2.2.1. Plásticos.

El plástico es un material liviano, resistente, económico y que puede ser fácilmente modificado. Este material está compuesto por moléculas pequeñas llamadas monómeros que se van uniendo hasta conformar grandes moléculas orgánicas denominadas polímeros, Los monómeros que conforman estos polímeros pueden ser el etileno, el propileno, el cloruro de vinilo y el estireno, los cuales se obtienen a partir de ciertos derivados del petróleo, el gas natural o los desechos vegetales (estos últimos dan paso a los biopolímeros). Las sustancias químicas orgánicas que se han nombrado aquí como monómeros son los que determinan las propiedades, la estructura y el tamaño de los polímeros. La fabricación del plástico requiere de la adición de una serie de sustancias específicas que cumplen funciones específicas que permiten mejorar las propiedades del producto final como la flexibilidad, durabilidad, resistencia a los rayos UV y al fuego, además de proporcionar color.



Figura 1. Objetos hechos en material plástico.

Clasificación de los materiales plásticos

De acuerdo con su comportamiento frente al calor los plásticos se dividen en:

- a. Termoestables
- b. Termoplásticos

Termoestables

Los materiales o polímeros termoestables son aquellos plásticos que pueden ser calentados y moldeados una sola vez, debido a que cuando son sometidos a la acción del calor y se endurecen forman enlaces químicos tridimensionales, (reticulación), que les proporciona una alta estabilidad química y resistencia térmica. La producción de los diferentes productos elaborados con este tipo de plástico se realiza mediante un moldeo líquido de polímeros, introduciendo el material a tanques en los cuales se calienta hasta licuarlo, luego se inyecta en moldes que al enfriarse adopta la forma del molde, seguidamente se somete a un proceso de curado para darle dureza. El curado permite la formación de enlaces químicos irreversibles que impiden que se vuelva blando cuando está sometido a elevadas temperaturas.

A este grupo de polímeros, estables a las altas temperaturas pertenecen: las resinas epoxi, poliésteres, poliuretano (PUR), resinas fenólicas o siliconas.

Ventajas de los materiales termoestables

Son útiles en la industria electrónica por su capacidad de aislamiento eléctrico, garantizando seguridad y eficiencia. También son ideales para fabricar estructuras, gracias a su resistencia mecánica y su peso ligero. Su estabilidad química permite resistir la corrosión y la degradación por sustancias químicas, siendo adecuados para ambientes agresivos o de calor extremo. Además, tienen un bajo coste y permiten grandes volúmenes de producción, funcionando como una alternativa viable a materiales como el metal o los termoplásticos. Estas ventajas hacen de los termoestables una opción económica y eficiente para diversos usos industriales.



Figura 2. Plástico termoestable.

Termoplásticos.

Este tipo de plásticos son polímeros que tienen la propiedad de poder ser moldeados repetidas veces empleando energía térmica y presión. Este tipo de plástico mantiene su capacidad de fusión pudiendo ser remodelados incluso después del moldeo y la solidificación. Esta propiedad, se le conoce con el nombre de termoplasticidad, y permite que los plásticos de este tipo sean procesados con mayor eficiencia y que se puedan adaptar a variadas formas y aplicaciones.

Los petroquímicos básicos o primarios que son materia prima para los polímeros termoplásticos son el petróleo y el gas natural, que son sustancias orgánicas conformadas básicamente por hidrocarburos (compuestos que en su estructura contienen átomos de hidrógeno y de carbono). A partir del petróleo y del gas natural mediante tratamiento químico con sustancias muy activas se obtienen los monómeros que son sometidos a proceso de polimerización en donde se forman las largas cadenas de polímeros, obteniéndose como producto final resinas plásticas que al ser calentadas se pueden moldear hasta adoptar diversas formas.

Los productos derivados del petróleo obtenidos en su fraccionamiento son tratados químicamente con diversos compuestos de mucha actividad para obtener como productos finales diferentes materiales termoplásticos.

Propiedades y características de los termoplásticos

Las principales características de los termoplásticos son las siguientes:

- Se pueden reciclar y reutilizar, gracias a la capacidad que tienen de resistir repetidas fusiones y modificaciones de manera rápida sin sufrir deterioro de su estructura y composición química.
- Se comportan como Aislantes del calor y la corriente eléctrica.
- Se les puede moldear en variadas formas y tamaños.
- No se ven afectados por la temperatura normal y las sustancias que lo rodean,
- Resistentes a la fluencia. Se considera que son los plásticos con mejores características para contener líquidos.

Los plásticos de este tipo incluyen, el polietileno (PE), el polipropileno (PP), el tereftalato de polietileno (PET), el cloruro de polivinilo (PVC) y el poliestireno (PS). Algunos plásticos termoestables son el poliuretano (PUR) y las resinas o recubrimientos epoxi.



Figura 3. Botellas hechas de material termoplástico.

Numeración del plástico según su composición

De acuerdo con el tipo de material usado para su fabricación los envases plásticos son clasificados con números del 1 al 7, los cuales se colocan al interior de un triángulo que indica que ese envase se puede reciclar. Este símbolo se coloca en el fondo externo del envase o en su parte posterior. Los números mencionados hacen referencia de la calidad y seguridad del plástico utilizado, así como de los químicos que se emplean en su fabricación.

			
PETE	HDPE	PVC	LDPE
			
Polyethylene Terephthalate	High Density Polyethylene	Polyvinyl Chloride	Low Density Polyethylene

Figura 4. Clasificación numérica de los materiales plásticos.

		
PP	PS	OTHER
		
Polypropylene	Polystyrene	Other

Figura 4. Clasificación numérica de los materiales plásticos (Continuación)

Número 1

El número 1 indica que la sustancia empleada en la fabricación de estos plásticos es el Polietileno Tereftalato (PET), y son usados para producir botellas donde se almacena agua, sodas, zumos, bebidas que consumen los deportistas, enjuagues, aceites comestibles. También se emplean para producir rellenos de almohadas y cojines.



Figura 5. Símbolo de los plásticos elaborados con polietileno tereftalato.

Entre las principales características de este tipo de plásticos está su alta transparencia, su capacidad para admitir colorantes y que pueden ser empleados para almacenar alimentos teniendo cuidado de no exponerlos al calor y deben de usarse una sola vez y en vez de

desecharlos se pueden reciclar. Los envases hechos con este tipo de plástico tienen una fecha de caducidad, después de la cual no se debe usar debido a que puede haber desprendimiento de antimonio y de ftalatos, estos últimos son tóxicos y afectan los riñones, hígado, los órganos reproductores, el sistema endocrino y sistema nervioso.

Entre las principales características de este plástico, tenemos las siguientes:

- Tienen una alta resistencia y adquieren rigidez
- En ellos se pueden conservar alimentos, aunque con ciertas precauciones.
- Son muy transparentes y se pueden colorear
- Tienen alta resistencia química y no los atacan diversos reactivos.
- Son resistentes al desgaste y a la rotura
- Son resistentes a la llama y no se prenden fácilmente.
- Se pueden reciclar sin limitaciones.



Figura 6. Botellas con agua de mesa fabricadas con PET.

Sobre la superficie interna y externa del plástico número 1, puede darse la acumulación de bacterias, la adsorción de moléculas que proporcionan o distorsionan los sabores y olores. El uso del plástico N°1 sin el cuidado pertinente y expuesto al calor, incluso al calor del sol, puede generar la emisión de diferentes cantidades de Antimonio (Sb), Formaldehído, Acetaldehído, Bromo (Br), Bisfenol A (BPA), Ftalatos (como el Di-2-etilhexilftalato y DEHP), que se difunden en el agua o en los alimentos y la concentración de estas sustancias aumenta con las horas de exposición al sol, el tiempo y la temperatura de almacenamiento. Industrialmente en la actualidad después de ser usados los envases (que por cierto son de un solo uso) se someten a reciclaje para emplearlos como materia prima para la fabricación de bolsas de asas, alfombras, muebles, revestimientos, fibras, piezas de automóviles y paños gruesos y polares.



Figura 7. Plástico PET, composición y efectos en la salud.

Número 2

Los plásticos que se clasifican con el número 2, significa que están hechos de Polietileno de alta densidad, material que se simplifica con las siglas en español PEAD o con las siglas en inglés HDPE. Son plásticos que se pueden volver a utilizar, rellenándolos con agua o con diferentes otras sustancias incluyendo alimentos en diferentes estados de agregación, en este sentido se consideran como los plásticos más seguros para conservar alimentos. Estos materiales plásticos poseen un bajo riesgo de filtrado, alta resistencia química y térmica. Tienen comprobada resistencia química al agua, a ácidos y ciertos disolventes orgánicos.



Figura 8. Símbolo de los plásticos elaborados con polietileno de alta densidad.



Figura 9. Objetos elaborados con polietileno de alta densidad (HDPE)

Los plásticos elaborados con polietileno de alta densidad (HDPE) son resistentes a la degradación, a los agentes ambientales y poseen una alta rigidez, estas propiedades han permitido que este tipo de plástico se emplee en la fabricación de multitud de productos de uso casero e industrial como los contenedores de materiales, cubos, señalizaciones, ruedas dentadas, tuberías de agua y alcantarillado, galoneras, piezas para equipos.

Otras aplicaciones que se les da a estos plásticos en la fabricación de envases para alimentos es en la fabricación de: cajas de leche, jarras de leche opacas, envases de zumo, de mantequilla, de yogurt, revestimientos de cajas de cereales, juguetes, mamilas, bolsas de embalaje y film, botellas de (champú, jabón líquido y gel de baño), toallas sanitarias, recipientes de limpiadores domésticos, botellas de detergente, envases de aceite de motor, bolsas de plástico. Al ser desechados se emplean en el reciclaje para fabricar múltiples objetos como los bolígrafos, mesas de picnic, botellas de detergente y limpiadores, contenedores, tubos de agua y gas.

Polietileno de media densidad (MDPE)

Este tipo de plástico en su estructura tiene un mayor número de cadenas de polímero lo que le proporciona mayor densidad. Este material, polietileno de media densidad, se usa para la fabricación de tuberías de gas, películas retráctiles, bolsas de transporte y cierres de rosca.

Polietileno de peso molecular ultra alto (UHMWPE)

Este plástico posee una alta densidad y tiene mayor resistencia a la abrasión gracias a la gran longitud de sus cadenas poliméricas. Al poseer una **alta densidad**, fuerza y propiedades de baja fricción, se utiliza en **blindajes** militares, **sellos**, **cojinetes hidráulicos** y **biomateriales** como los implantes de prótesis médicas.

Número 3

El número 3, indica que está hecho de **Vinilo o Policloruro (V/PVC)**. El PVC es resultado de combinaciones de cloro y carbono, además de algunos aditivos tóxicos; este material puede ser rígido o flexible, es de alta resistencia ambiental, es decir, No es biodegradable, por lo que representa un daño para el medio ambiente.

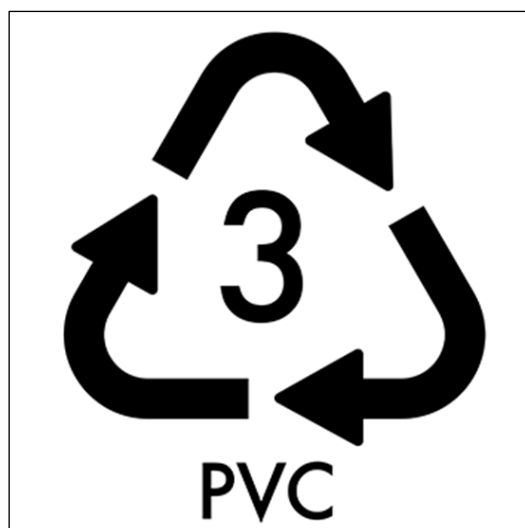


Figura 10. Símbolo de los plásticos elaborados con vinilo o policloruro.

Se recomienda evitar el uso de este plástico, debido a que contiene:

- **Dietilhidroxilamina (DEHA)**, compuesto químico que cuando se está expuesto a él durante largos periodos produce cáncer.
- **Ftalatos**: es un disruptor hormonal; produce alteración en los niveles de hormonas sexuales permitiendo que los machos tengan comportamiento de hembras, genera el aborto involuntario, disminuye la cantidad y calidad del esperma, causa infertilidad, malformaciones en el feto humano y podrían tener efectos sobre la tiroides, la obesidad, las alergias. Los pisos de PVC o acolchados empleados en guarderías causan asma, alergia y autismo en niños.
- **Cloruro de vinilo**: compuesto considerado cancerígeno que se desprende del plástico número 3 por efecto del calor pasando fácilmente a la comida o al agua que está en contacto con este material.



Figura 11. Objetos elaborados con plástico número 3

El plástico N°3 se usa en la fabricación de envolturas para alimentos, tuberías para agua, botellas para aceites comestibles, envases de condimentos, paquetes de carnes y embutidos, film

transparente, juguetes, cortinas y botellas para detergente, bolsas de todo tipo, recipientes, juguetes, manteles, suelas para zapatos. Se recicla para fabricar revestimientos, pisos, rebotes de velocidad, cubiertas y canalones de la carretera entre otros.

Número 4

Estos plásticos designados con el número 4 están hechos de Polietileno de Baja Densidad (PEBD), sus siglas en inglés (LDPE). Este plástico es muy resistente, tiene mucha flexibilidad y puede ser semi opaco o transparente. Están considerados como uno de los más inofensivos de todos los plásticos que se producen, sin embargo, hay que tener cuidado cuando se calienta y durante su descomposición porque libera formaldehído.



Figura 12. Símbolo de los plásticos elaborados con polietileno de baja densidad.

Estos plásticos tienen una ductilidad alta, sin embargo, su resistencia a la tracción es baja, esta propiedad hace que este plástico sea muy flexible y se le dé uso especialmente en la fabricación de bolsas de plástico, envases transparentes para alimentos, envases desechables y aislantes de cables entre otros.



Figura 13. Productos y material correspondiente al polietileno de baja densidad.

Con el plástico N°4 se fabrican las botellas exprimibles, las bolsas con asas, bolsas para alimentos, alimentos congelados, bolsas reusables para las compras, alfombras, ropa, pajitas,

bolsas para basura, aislante para cables eléctricos. Sus desechos son reciclados para fabricar contenedores y papeleras, tuberías, sobres, paneles, baldosas



Figura 14. Bolsa fabricada con polietileno de baja densidad.

Número 5

Los plásticos clasificados con el número 5, son producidos empleando como materia prima el Polipropileno (PP), el cual es un polímero termoplástico cuya principal característica es ser parcialmente cristalino. Se obtiene de la polimerización del propileno (o propeno) el mismo que es un hidrocarburo perteneciente a las olefinas. El polipropileno se incluye dentro del grupo de las poliolefinas y tiene muchas aplicaciones en la fabricación de objetos como empaques para alimentos, tejidos, muebles y accesorios, equipo de laboratorio, componentes automotrices y películas transparentes. Presenta una elevada resistencia contra solventes químicos, contra álcalis y ácidos, entre ellos el acetato de sodio. Su temperatura de fusión es alta.



Figura 15. Símbolo de los plásticos elaborados con polipropileno.

Esta característica (alta temperatura de fusión), permite utilizar este material en la elaboración de utensilios que permitan calentar comidas ya que no se derriten al ser sometidos a altas temperaturas. Estos plásticos poseen características físicas especiales como la opacidad, son impermeables y resistentes. Las propiedades anteriormente citadas hacen que este material sea muy utilizado para fabricar envases para diversos alimentos, vajillas, bolsas de microondas, pañales desechables, etc.

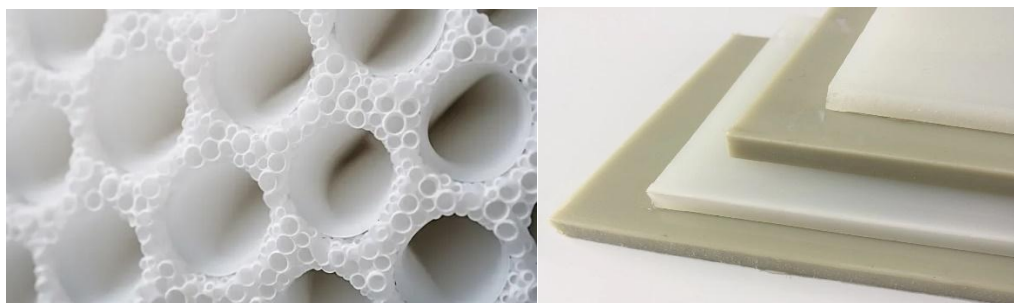


Figura 16. Objetos fabricados con polipropileno.

Los plásticos hechos con polipropileno se consideran seguros para la manipulación de alimentos, incluso calentándolos, pero hay que tener en cuenta que el efecto térmico permite la liberación de Aldehídos, Cetonas, Fenol y Ácidos carboxílicos; sustancias tóxicas que estimulan los procesos de esclerosis.

Cuando estos plásticos son desechados, se someten a reciclaje para producir otros objetos como cajas de baterías para automóviles, escobas, contenedores, paletas, luces de señalización, y portabicicletas, rascadores de hielo.



Figura 17. Objetos elaborados con polipropileno.

Número 6.

Los plásticos clasificados con el número 6 se fabrican empleando como materia prima el Poliestireno (PS). Este compuesto de la química orgánica es un polímero termoplástico, es decir, se puede moldear y transformar mediante calor (100 °C). El poliestireno se elabora a partir del monómero estireno que es un líquido incoloro, muy peligroso y mortal, debido a esto se restringe su uso y se recomienda darle un solo uso.

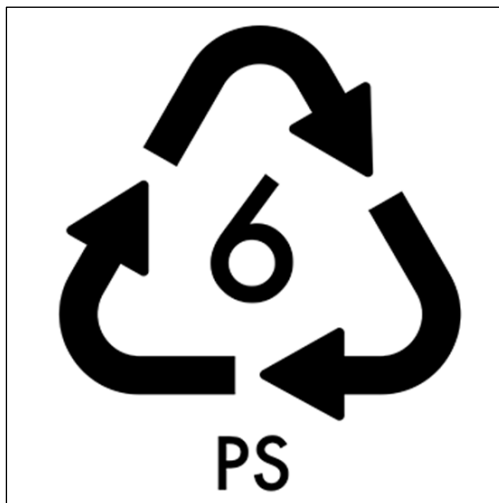


Figura 18. Símbolo de los plásticos elaborados con poliestireno.

Estos plásticos no se deben calentar, mucho menos con algún alimento, ya que desprenden Antimonio, Bromo, Estireno, Etilbenceno, Tolueno y Benceno, sustancias que son muy tóxicas, principalmente el estireno que al ingresar al organismo altera la función del hígado y los riñones, afecta el sistema circulatorio y nervioso.



Figura 19. Objetos fabricados con el plástico poliestireno.

Con este tipo de plástico se fabrican utensilios para la mesa como: cucharas, tenedores, platos y vasos desechables, juguetes, envases para alimentos de todo tipo, botellas, etc. Su reciclaje está

orientado a la fabricación embalajes de espuma, cartones de huevo, bandejas, macetas, accesorios de oficina, respiraderos y recipientes de basura.

Número 7

Los plásticos clasificados con el número 7, están elaborados con una mezcla de cuatro sustancias las cuales son: Policarbonatos (PC); poliamida (PA), Poliuretano (PU) y Bisfenol-A (BPA). Según esta clasificación todas aquellas resinas plásticas que no están clasificadas en las numeraciones anteriores se consideran pertenecientes a los plásticos número 7, los cuales no son reciclables debido a que su composición es muy variada y en muchos casos desconocida.



Figura 20. Símbolo de los plásticos elaborados con la mezcla Policarbonatos; poliamida, Poliuretano y Bisfenol-A.

Estos plásticos por su composición química se catalogan como mortales ya que por efecto del calor desprenden diversas sustancias gaseosas tóxicas como resultado de la descomposición de los componentes iniciales. Las principales sustancias que se generan por efectos térmicos son: Antimonio, Bromo y Bisfenol A, esta última considerada “disruptor endocrino”, ya que altera el sistema hormonal; su presencia en el organismo se relaciona con el cáncer de mama o de próstata, produce infertilidad masculina, causa problemas reproductivos, hiperactividad, deprime el sistema inmune y aumentan el tejido adiposo. Está prohibido para los biberones. Con estos plásticos se fabrican botellas de agua de 3 y 5 galones, gafas de sol, nylon, los tapones de las botellas, revestimientos de las latas de conserva, cajas de iPod, cajas de ordenador y materiales a prueba de balas.



Figura 21. Tacho elaborado con plástico N°7.

2.2.2. Descomposición térmica del plástico.

Los materiales plásticos dependiendo de su composición química, se ven afectados por la temperatura a partir de los 30°C, y en algunos casos a partir de los 25°C, conforme aumenta la temperatura la emisión de gases y vapores son mayores ya que los solventes y aditivos que son agregados a estos materiales tienen por lo general bajo punto de ebullición. Por otro lado, los compuestos que emanan los plásticos que se calientan o queman varían dependiendo de su composición. Tal es el caso del polietileno (PE), el plástico que mayor uso tiene en el planeta, que al ser sometido a altas temperaturas desprende gran cantidad de sustancias tóxicas como los compuestos de furanos, dioxinas, monóxido de carbono y sulfuro de hidrógeno. De la misma manera el cloruro de polivinilo (PVC), de amplio uso en diferentes industrias, cuando se quema o calienta a altas temperaturas desprende una gran variedad de contaminantes, entre ellos dioxinas, ftalatos, metales pesados y cloruro de vinilo.

En la elaboración del plástico se emplean una gran cantidad de sustancias químicas que algunos consideran hasta 132, y debido a ello los gases y vapores que se desprenden como resultado de la descomposición térmica son también muchos por lo que es necesario clasificarlos en categorías, como se hace a continuación:

- **Furanos:** sustancias orgánicas heterocíclicas consideradas como muy tóxicas.
- **Dioxinas:** Son sustancias muy estables y tóxicas consideradas cancerígenas.
- **Ftalatos:** Son compuestos químicos, empleados como plastificantes y tóxicas.
- **Bifenilos policlorados (PCB):** sustancias cancerígenas compuestas por carbono, hidrógeno y cloro.
- **Retardantes de llama:** Sustancias químicas empleadas para hacer del plástico un material resistente al fuego, todas ellas tóxicas para el organismo.
- **Sustancias perfluoradas y polifluoradas (PFAS):** compuestos químicos de uso industrial que están compuestas de carbono y flúor, son tóxicas.

Es crucial entender qué sucede con estas sustancias cuando los plásticos son reciclados o se convierten en residuos. Algunos contaminantes pueden integrarse en el polvo doméstico, en el aire interior de edificios, o ser inhalados por personas. Además, al estar en contacto con alimentos o bebidas, pueden ser ingeridos.

La tasa de migración de sustancias desde el plástico depende de sus propiedades fisicoquímicas y factores como la temperatura de ebullición y los materiales en contacto con el plástico. Las moléculas pequeñas, como monómeros y disolventes residuales, migran rápidamente debido a su baja temperatura de ebullición. Monómeros como formaldehído, cloruro de vinilo y etileno, que son gases, tienden a migrar rápidamente incluso a temperatura ambiente. Otras sustancias pueden migrar más lentamente, influenciadas por su solubilidad o abrasión.

Hay poca conciencia sobre la complejidad química de los plásticos. Estos pueden contener sustancias como el triclosán o compuestos con estaño, que actúan como biocidas para evitar ataques de microorganismos. Una pequeña parte de estas sustancias puede migrar y perdurar en el reciclaje o cuando se conviertan en residuos.

Los compuestos orgánicos de estaño, como el tributilestaño y el trifenilestaño, pueden estar presentes en plásticos como la espuma de poliuretano o el PVC. Estos compuestos no están químicamente unidos al plástico y pueden liberarse, lo que permite la exposición humana por inhalación, absorción dérmica o ingestión. Los compuestos organo-estánicos son preocupantes debido a sus efectos hormonales incluso a concentraciones muy bajas.

Permanencia y sustancias químicas.

Los agentes de soplado se usan en plásticos para crear espumas como la de poliuretano. Según un informe de una agencia danesa, estos agentes pueden permanecer en el producto final bajo ciertas condiciones. Ejemplos incluyen algunos CFC y ADCA (azodi(formamida)).

Esta sustancia puede usarse en PVC, polietileno y resinas epoxi. Si no se controla bien durante la fabricación, puede permanecer en los productos finales ya que su estado gaseoso se alcanza a alta temperatura. Fue prohibida en 2005 para materiales en contacto con alimentos. Algunos clorofluorocarbonos se usan en espumas de poliestireno o fenólicas y pueden migrar de ellas según la temperatura y el tiempo transcurrido desde su fabricación.

Algunos metales pesados se han utilizado como colorantes, estabilizadores y catalizadores. En la UE, el uso de estas sustancias ha sido prohibido o restringido significativamente. Sin embargo, en ciertos casos, pueden llegar a Europa a través de importaciones. Algunos de estos metales se emplean para lograr colores intensos.

Metales como plomo, estaño, cadmio y zinc se han usado como estabilizadores en PVC. El cadmio fue prohibido en la UE para pigmentos y estabilizadores plásticos, aunque puede haber productos anteriores a la prohibición. Estos riesgos de exposición no se consideran generalmente relevantes.

Catalizadores y retardantes.

El mercurio y sus compuestos, empleados como catalizador en el poliuretano en algunos países, pueden migrar porque no están químicamente unidos al plástico. Esto genera riesgo de exposición humana por inhalación o contacto con la piel al vaporizarse desde un suelo de plástico. Los retardantes de llama añadidos a los polímeros plásticos, especialmente los bromados que constituyen un 12-18% del peso, también pueden migrar fácilmente, por ejemplo, a temperaturas de funcionamiento de equipos eléctricos y electrónicos.

Esto podría exponer a los humanos significativamente. Los retardantes de llama bromados pueden estar en diversos plásticos, especialmente como aditivos no unidos químicamente. Son comunes en termoplásticos, donde se migra más fácilmente. Los polibromodifenilos y difeniléteres han sido prohibidos o restringidos en productos eléctricos o electrónicos desde 2006, pero aún pueden encontrarse en muchos productos.

Regulador de la viscosidad

El tris(2-cloroetil)fosfato (TCEP) se usa como plastificante y retardante de llama en poliuretano, poliéster, PVC y otros polímeros. Su principal uso es en resinas de poliéster insaturado (80%), pero también está en resinas acrílicas, adhesivos y recubrimientos. Se añade a plásticos como poliuretano, poliéster, PVC, acetato de polivinilo, PMMA, epoxy, poliamida, policarbonato, poliéster termoplástico y poliéster insaturado. No se une químicamente a los plásticos y es semi-volátil, lo que puede causar exposición humana por ingestión o inhalación.

Entre los monómeros, como etileno, propileno, butadieno y formaldehído, hay sustancias preocupantes. Además, a los plásticos se añaden sustancias para iniciar o acelerar la polimerización, como agentes de curado, reguladores de cadena y catalizadores. También se usan disolventes reactivos, como el estireno. Aunque estas sustancias suelen reaccionar al formar los polímeros, algunos monómeros y compuestos reactivos pueden permanecer en los plásticos finales.

Bisfenol A.

El bisfenol A (BPA) es un monómero presente en el plástico de policarbonato, resinas epoxy y poliéster insaturado, además de otros plásticos como el PVC y la espuma rígida de poliuretano. Aunque las cantidades liberadas son mínimas, preocupa su presencia en materiales en contacto con alimentos, ya que muchos estudios científicos vinculan la exposición a bajos niveles de BPA con posibles efectos sanitarios.

Formaldehído

El formaldehído, presente en melamina, resinas fenólicas y polioximetileno, puede migrar si no reacciona por completo, lo que podría exponer a las personas. El fenol también puede liberarse e inhalarse desde las resinas fenólicas. Estas sustancias son especialmente preocupantes en exposiciones laborales, al igual que el estireno, que puede migrar desde el PS, EPS, SAN o ABS si quedan residuos.

Entre los grupos de sustancias en los plásticos que merecen atención están los colorantes, pigmentos, estabilizadores ultravioletas, antioxidantes y térmicos. Su función es proteger a los plásticos de la degradación por luz, oxígeno y calor, para prolongar su vida útil. La mayoría de estas sustancias permanecerán en los plásticos, aunque una fracción mínima, como algunos estabilizadores ultravioletas y antioxidantes, puede liberarse.

Parafinas.

Sustancias como las parafinas cloradas y los ftalatos son preocupantes por sus efectos en la salud y su uso común, especialmente en el PVC. También se encuentran en otros plásticos como espuma de poliuretano, acrílicos y poliéster. Las parafinas cloradas de cadena media (MCCP) se usan como plastificantes y retardantes de llama en plásticos blandos y PVC. Al no estar químicamente unidas al material, pueden liberarse y causar exposición humana.

Disolventes

Durante el proceso de polimerización, algunos compuestos pueden permanecer en los productos aunque la mayoría se evaporen rápidamente. Por ejemplo, el 2-Methoxyethanol se utiliza en resinas epoxi y acetato de polivinilo. El tricloroetileno se emplea en la fabricación del PVC y el cloruro de metileno es usado en el policarbonato y las resinas de poliuretano (PUR), entre otros usos. Además, el 1,4-dioxano se utiliza en polímeros basados en celulosa o en polímeros de polivinilo.

Dispersantes.

El ácido perfluorooctanoico (PFOA) y compuestos similares se usan como dispersantes en ciertos plásticos como el polifluoretileno (PTFE). Pueden liberarse a altas temperaturas, pasando del recubrimiento antiadherente de una sartén a los alimentos. Algunos hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs) pueden estar presentes como impurezas en plastificantes de plásticos blandos o en otros plásticos como ABS y PP, especialmente en plásticos negros. Puede haber pequeñas emisiones de estas sustancias.

2.3. Marco conceptual.

Aditivos:

Sustancias añadidas a los plásticos para modificar sus propiedades o comportamiento durante su procesamiento.

LDPE:

El polietileno de baja densidad (LDPE) es un plástico utilizado principalmente en aplicaciones de película. Se emplea para fabricar películas flexibles, como las utilizadas en bolsas de plástico de los centros comerciales.

Lixiviados:

Los líquidos resultantes de la reacción, arrastre o filtrado de residuos sólidos contienen sustancias disueltas o en suspensión que pueden contaminar suelos y cuerpos de agua.

LLDPE:

El polietileno de baja densidad lineal (LLDPE) es un tipo de plástico utilizado principalmente en aplicaciones de película. Se emplea en productos como bolsas de comestibles, empaques de basura y revestimientos para rellenos sanitarios.

PET:

Polietileno Tereftalato. El PET se emplea para hacer recipientes.

Pirolisis:

La descomposición térmica de cualquier material a altas temperaturas.

Polímero:

Un compuesto orgánico de alto peso molecular, compuesto por unidades pequeñas llamados monómeros.

PVC:

Cloruro de Polivinilo.

Reciclaje:

Proceso de recuperación de materiales que se transforman en nuevos productos.

Metales pesados:

Elementos metálicos con densidad superior a 5 en la tabla periódica, son considerados contaminantes tóxicos.

Polietileno Tereftalato (PETE):

Se elaboran con ácido tereftálico y el etilenglicol. Pueden captar olores y sabores, son utilizados para hacer artículos como envases de alimentos y bebidas.

Polietileno de Alta Densidad (HDPE):

Se elaboran con Etileno. Son impermeables, no tóxicos y resistencia, se usan para fabricar recipientes para alimentos.

Policloruro de Vinilo (V):

Se producen a partir de gas y sal común, se caracterizan por ser ignífugos.

Polietileno de Baja Densidad (LDPE):

Son elaborados a partir del gas natural. Tienen alta duración y son flexibles, se utilizan en la fabricación de bolsas hasta alfombras y vestidos.

Polipropileno (PP):

SE fabrica a partir del propileno y del etileno. Son plásticos rígidos, muy transparentes, se usan para fabricar tapones, latas de refrescos, contenedores y envases de medicinas.

Poliestireno (PS):

Son plásticos frágiles y rígidos, se emplean para hacer artículos como cubiertos y cajas de CDs.

Otros (OTHER):

Son resinas plásticas que combinan varios de los compuestos mencionados anteriormente.

2.4. Estrategia Metodológica.

Esta investigación por su tipo es aplicada ya que busca que dar solución a un problema ambiental muy peligroso como es la contaminación química por reciclaje térmico del plástico. Por su nivel esta investigación es explicativa pues relaciona ambas variables de estudio y por su diseño es experimental puesto que manipula la variable independiente: reciclaje del plástico por métodos térmicos. La población de estudio estará representada por las diversas plantas de reciclaje de plásticos que hay en la región Ica, mientras que la muestra estará representada por la planta de reciclaje “PET” de Ica, cuyos métodos de reciclaje de botellas plásticas se tomaran en cuenta para realizar los ensayos en laboratorio bajo las mismas condiciones a fin de obtener los datos necesarios sobre los compuestos orgánicos volátiles y los gases efecto invernadero.

Las técnicas son las analíticas y los instrumentos los ensayos de laboratorio. Los datos obtenidos serán seleccionados, tabulados, interpretados y discutidos.

2.5. Procedimiento experimental.

Recolección de muestras.

El material que se empleó en la parte experimental de la tesis estuvo conformado por dos tipos de plásticos: una de ellas fueron las botellas PET, las cuales son hechas con plásticos a base de polietileno tereftalato y la otra muestra fue galoneras, recipientes para alcohol y para champú, hechas con polietileno de alta densidad (HDPE).

Lavado de las muestras.

Después de quitarles las etiquetas a las botellas y recipientes, estos fueron lavados cuidadosamente para eliminar la suciedad y retirar en su totalidad la sustancia que contenía. El lavado se hizo según el caso con agua y detergente y finalmente se enjuagaron todos los envases con agua destilada.

Trozado y secado.

Una vez limpias ambas muestras se trozaron en pequeños trozos a fin de que el secado sea más rápido cuando se le expuso al sol, lo cual se logró en cuatro horas, dando vuelta al material para acelerar el secado.

Molienda

El material plástico correspondiente a cada una de las muestras por separado se sometió a molienda en un molino eléctrico de alta velocidad (32 000 rpm) con capacidad para 2 kilogramos e intervalo de trabajo de 5 minutos, con lo que se obtuvo una masa totalmente pulverizada de cada una de las muestras.

Tratamiento térmico.

El material plástico pulverizado perteneciente a cada una de las muestras se llevó a calentamiento en olla de acero inoxidable, en cocción con termostato regulable, la cual permitió ir graduando la temperatura y tomando datos de las emisiones en cada intervalo de temperatura, hasta llegar al punto de fusión del plástico, el cual para ambos casos superó los 250°C.

Mediciones.

Las mediciones de las emisiones que se producen durante el tratamiento del plástico se realizaron en cada una de las operaciones que involucran aumento de temperatura sobre el material, como el secado al sol, el calentamiento desde 30°C hasta los 100°C tomada la temperatura cada 10°C, (30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 y 100°C) y luego cada 50°C (150, 200, 250, 300°C) hasta la temperatura de fusión. Los gases evaluados fueron los GEI y los COV.



Figura 22. Molino eléctrico para pulverizar el plástico.



Figura 23. Plástico pulverizado.

La revisión bibliográfica indica que durante el calentamiento del polietileno tereftalato (PET) y el polipropileno de alta densidad a temperaturas que van desde 90°C a 100°C se emiten muchas sustancias volátiles como los compuestos aromáticos y oxigenados, entre ellos el acetaldehído, benzoato de vinilo y ácido benzoico, monóxido de carbono, dióxido de carbono, acetofenona, hidrocarburos alifáticos de bajo peso molecular y benceno, además, se ha detectado presencia de benzaldehído, alcohol metoxibencílico, éter benzoico y ácido 2-acetilbenzoico.

Cuando la temperatura sube hasta los 200 - 300°C, se registró la presencia del acetaldehído y formaldehído; cuando las temperaturas superan estos valores se producen mezclas de compuestos químicos gaseosos de una elevada complejidad.

La degradación térmica de las botellas plásticas de la clasificación N°1 y N°2 produce la emisión de aldehídos como el acetaldehído, formaldehído y benzaldehído, hidrocarburos alifáticos (C1-C4), hidrocarburos aromáticos entre los cuales están el benceno, tolueno, etilbenceno, xileno y estireno y ésteres entre ellos el benzoato de vinilo, acetato de metilo. Además, se generan compuestos orgánicos volátiles (COV) entre ellos el tolueno, el monóxido de carbono y los aldehídos pueden transferirse a los alimentos, aportando sabores y olores desagradables. Otros compuestos que se emiten cuando se somete los plásticos: polietileno tereftalato (PET) y el polipropileno de alta densidad, son los hidrocarburos policíclicos aromáticos (HAP) y partículas ultrafinas (UFP).

Compuestos orgánicos volátiles (COV)

Son compuestos orgánicos que poseen una elevada presión de vapor y son insoluble en agua, se generan a partir de sólidos o líquidos y la mayoría de ellos son tóxicos, y varios son cancerígenos, pertenecen a diferentes funciones orgánicas como: aldehídos, cetonas, alcoholes, ésteres, hidrocarburos, etc. Los COV más comunes son: cetona, benceno, formaldehído, estireno, tetra cloruro de etileno, tolueno, xileno, acetaldehído, benzaldehído.

Equipo para las mediciones

El equipo empleado para hacer las mediciones de los gases de efecto invernadero y los compuestos orgánicos volátiles (COV) es el ALTAIR 5X PID para 6 gases y COV.



Figura 24. Equipo ALTAIR 5X PID, multi gases.

Especificaciones y certificaciones técnicas

Especificaciones técnicas

PESO	1 libra (0.45 kg) para el instrumento con la batería y la presilla (unidad ALTAIR 5X)			
PESO (CON SENSOR IR)	1.15 libras (0.52 kg)			
DIMENSIONES	6.69" alto x 3.49" ancho x 1.79" profundidad sin la presilla para cinturón (unidad ALTAIR 5X)			
DIMENSIONES CON SENSOR IR	6.68" alto x 3.52" ancho x 1.92" profundidad			
ALARMAS	LED, alarma audible, alarma vibrante			
VOLUMEN ACÚSTICO DE LA ALARMA	95 dB típico			
PANTALLAS	Monocromática o a color			
TIPOS DE BATERÍAS	Batería de ión de litio recargable Batería alcalina AA reemplazable (sólo unidad ALTAIR 5X)			
TIEMPO DE CARGA	< 6 horas. Máximo voltaje de carga en área segura; Um = 6.7 voltios CC			
INTERVALO DE TEMP. NORMAL	14° F a 104° F (-10° C a 40° C)			
INTERVALO DE TEMP. EXTENDIDA	-4° F A 122° F (-20° C A 50° C) PANTALLA MONOCROMÁTICA 14° F A 122° F (-10° C A 50° C) PANTALLA A COLOR -4° F A 104° F (-20° C A 40° C) PARA INSTRUMENTOS CON SENSORES DE ClO ₂			
INTERVALO DE TEMP. DE OPERACIONES DE CORTO PLAZO (15 MINUTOS)	-40° F A 122° F (-40° C A 50° C)			
INTERVALO DE HUMEDAD	15–90% humedad relativa, sin condensación; 5–95% humedad relativa intermitente			
INTERVALO DE PRESIÓN ATMOSFÉRICA	11.6 a 17.4 PSIA (80 a 120 kPa)			
PROTECCIÓN DE POLVO Y ROCÍO	IP 65			
MÉTODOS DE MEDICIÓN	Gas combustible: Sensor catalítico o infrarrojo O ₂ y gas tóxico: Sensor electroquímico o infrarrojo			
GARANTÍA	Ver Sección 1.3			
INTERVALO DE MEDICIÓN	H ₂ S 0-200 ppm	CO 0-2000 ppm	O ₂ 0-30 % Vol.	Combustible 0-100% LEL 0-5.00% CH ₄
	SO ₂ 0-20 ppm	NO ₂ 0-20 ppm	NH ₃ 0-100 ppm	PH ₃ 0-5 ppm
	Cl ₂ 0-10 ppm	ClO ₂ 0-1 ppm	HCN 0-100 ppm	NO 0-250 ppm

5-1

Valores críticos de la alarma fijados en la fábrica

SENSOR	ALARMA BAJA	ALARMA ALTA	PUNTO ESTABLECIDO		STEL	TWA
			MIN	MAX		
COMB	10% LEL	20% LEL	5% LEL	60% LEL	-- ¹	-- ¹
CO	25 ppm	100 ppm	10 ppm	1700 ppm	100 ppm	25 ppm
H ₂ S	10 ppm	15 ppm	5 ppm	175 ppm	15 ppm	10 ppm
O ₂	19.5%	23.0%	5.0%	24.0%	-- ¹	-- ¹
SO ₂	2.0 ppm	5.0 ppm	2.0 ppm	17.5 ppm	5 ppm	2.0 ppm
NO	25	100	10	200	25	25
NO ₂	2.0 ppm	5.0 ppm	1.0 ppm	17.5 ppm	5.0 ppm	2.0 ppm
NH ₃	25 ppm	50 ppm	10 ppm	75 ppm	35 ppm	25 ppm
PH ₃	0.3 ppm	1.0 ppm	0.3 ppm	3.75 ppm	1.0 ppm	0.3 ppm
Cl ₂	0.5 ppm	1.0 ppm	0.3 ppm	7.5 ppm	1.0 ppm	0.5 ppm
ClO ₂	0.1 ppm	0.3 ppm	0.1 ppm	0.9 ppm	0.3 ppm	0.1 ppm
HCN	4.5 ppm	10.0 ppm	2.0 ppm	20.0 ppm	10 ppm	4.5 ppm
IR - CO ₂ (10% Vol)	0.5% Vol	1.5% Vol	0.2% Vol	8% Vol	0.5% Vol	1.5% Vol
IR Propano (100% Vol)	-- ²	-- ²	-- ²	-- ²	-- ¹	-- ¹
IR Butano (25% Vol)	8% Vol	15% Vol	5% Vol	25% Vol	-- ¹	-- ¹
IR Metano (100% Vol)	-- ²	-- ²	-- ²	-- ²	-- ¹	-- ¹

¹STEL y TWA no se aplican para gases combustibles y de oxígeno.

²No son posibles los límites de la alarma para los sensores IR de 0–100% Vol de metano y propano. En atmósferas con > 100% LEL de gas combustible presente, las unidades con un sensor LEL combustible catalítico estarán atorados con una alarma de fuera de intervalo y los sensores IR de 100% Vol presentarán la lectura de gas de % Vol.

Especificaciones del funcionamiento del sensor

SENSORES PRIMARIOS

	INTERVALO	RESOLUCIÓN	REPRODUCIBILIDAD	TIEMPO DE RESPUESTA
Com- bustible (LEL)	0-100% LEL ó 0-5% CH ₄	1% LEL ó 0.05% Vol CH ₄	Intervalo de temp. normal: <50% LEL: 3% LEL 50-100% LEL: 5% LEL <2.5% CH ₄ : 0.15% CH ₄ 2.5-5.00% CH ₄ : 0.25% CH ₄ Extended temp. range: <50% LEL: 5% LEL 50-100% LEL: 8% LEL <2.5% CH ₄ : 0.25% CH ₄ 2.5-5.00% CH ₄ : 0.40% CH ₄	t(90) <15 seg. (Pentano) (temp. normal) t(90) <10 seg. (Metano) (temp. normal)
Oxígeno	0-30% O ₂	0.1% O ₂	0.7% O ₂ for 0 - 30% O ₂	t(90) <10 seg. (temp. normal)
Mon- óxido de carbono	0-2000 ppm CO	1 ppm CO,	Intervalo de temp. normal: ±5 ppm ó 10% de lectura, lo que sea mayor; Intervalo de temp. extendida: ±10 ppm ó 20% de lectura, lo que sea mayor	t(90) <15 seg. (temp. normal)
Sulfuro de hidró- geno	0-200 ppm H ₂ S	1 ppm H ₂ S, 3-200 ppm H ₂ S	Intervalo de temp. normal: ±2 ppm H ₂ S ó 10% de lectura, lo que sea mayor; Intervalo de temp. extendida: ±20 ppm ó 20% de lectura, lo que sea mayor	t(90) <15 seg. (temp. normal)

SENSORES IR

	INTERVALO	RESOLUCIÓN	REPRO- DUCIBILIDAD DEL CERO	REPRO- DUCIBILIDAD DEL VALOR MSD. VALUE	TIEMPO DE RESPUESTA A 20°C T90
Dióxido de carbono	0 - 10% Vol	0.01% Vol	$\leq \pm 0.1 \% \text{ Vol}$	$\leq \pm 4\%$	≤ 35
Metano	0 - 100% Vol	1% Vol	$\leq \pm 5 \% \text{ Vol}$	$\leq \pm 10\%$	≤ 34
Propano	0 - 100% Vol	1% Vol	$\leq \pm 3 \% \text{ Vol}$	$\leq \pm 8\%$	≤ 36
Butano	0 - 25 % Vol	0.1% Vol	$\leq \pm 0.5 \% \text{ Vol}$	$\leq \pm 4\%$	≤ 35

SENSORES TÓXICOS ADICIONALES

	INTER- VALO (PPM)	RESO- LUCIÓN (PPM)	REPRODUCIBILIDAD INTERVALO DE TEMP. NORMAL	REPRODUCIBILIDAD INTERVALO DE TEMP. EXTENDIDA	TIEMPO DE RESPUESTA NOMINAL *
Cl ₂ Cloro	0-10	0.05	$\pm 0.2 \text{ ppm}$ ó 10% de lectura (lo que sea mayor)	$\pm 0.5 \text{ ppm}$ ó 20% de lectura (lo que sea mayor)	t(90) < 30 seg.
NH ₃ Amoníaco	0-100	1	$\pm 2 \text{ ppm}$ ó 10% de lectura (lo que sea mayor)	$\pm 5 \text{ ppm}$ ó 20% de lectura (lo que sea mayor)	t(90) < 40 seg.
HCN Ácido cianhídrico	0-30	0.5	$\pm 1 \text{ ppm}$ ó 10% de lectura (lo que sea mayor)	$\pm 2 \text{ ppm}$ ó 20% de lectura (lo que sea mayor)	t(90) < 30 seg.
SO ₂ Sulphur Dioxide	0-20	0.1	$\pm 2 \text{ ppm}$ ó 10% de lectura (lo que sea mayor)	$\pm 3 \text{ ppm}$ ó 20% de lectura (lo que sea mayor)	t(90) < 20 seg.
ClO ₂ Dióxido de cloro	0-1	0.01	$\pm 0.1 \text{ ppm}$ ó 10% de lectura (lo que sea mayor)	$\pm 0.2 \text{ ppm}$ ó 20% de lectura (lo que sea mayor)	t(90) < 2 min.
NO Óxido nítrico	0-100	1			
NO ₂ Dióxido de nitrógeno	0-20	0.1	$\pm 2 \text{ ppm}$ ó 10% de lectura (lo que sea mayor)	$\pm 3 \text{ ppm}$ ó 20% de lectura (lo que sea mayor)	t(90) < 40 seg.
PH ₃ Fosfina	0 - 5	0.05	$\pm 0.2 \text{ ppm}$ ó 10% de lectura (lo que sea mayor)	$\pm 0.25 \text{ ppm}$ ó 20% de lectura (lo que sea mayor)	t(90) < 30 seg.

* El tiempo de respuesta es para el intervalo de temperatura normal con el sensor en la posición 3.

Especificaciones de calibración

Consulte la Sección 6.1 para ver los números de pieza de cilindros de gas MSA.

SENSOR (min.)	GAS CERO	VALOR DE CAL. CERO	GAS DE CAL. DE INTERVALO	CAL. DE INTERVALO VALOR	TIEMPO

PENTANO COMB.	AIRE FRESCO	0	1.45% METANO	58 LEL	1
METANO COMB. (0-5% V)	AIRE FRESCO	0	2.5% METANO	2.5%	1
METANO COMB. (4.4% V)	AIRE FRESCO	0	1.45% METANO	33 LEL	1
*PROPANO COMB. (1.7% V)	AIRE FRESCO	0	1.45% METANO	58 LEL	1
*PROPANO COMB. (2.1% V)	AIRE FRESCO	0	1.45% METANO	46 LEL	1
*BUTANO COMB. (1.4% V)	AIRE FRESCO	0	1.45% METANO	58 LEL	1
*METANO COMB. (5.0% V)	AIRE FRESCO	0	1.45% METANO	29 LEL	1
HIDRÓGENO COMB.	AIRE FRESCO	0	1.45% METANO	29 LEL	1
O ₂	AIRE FRESCO	20.8%	15% O ₂	15.0%	1
CO	AIRE FRESCO	0	60 PPM CO	60 PPM	1
H ₂ S	AIRE FRESCO	0	20 PPM H ₂ S	20 PPM	1
SO ₂	AIRE FRESCO	0	10 PPM SO ₂	10 PPM	1
Cl ₂	AIRE FRESCO	0	10 PPM Cl ₂	10 PPM	2
NO	AIRE FRESCO	0	50 PPM NO	50 PPM	4
NO ₂	AIRE FRESCO	0	10 PPM NO ₂	10 PPM	4
NH ₃	AIRE FRESCO	0	25 PPM NH ₃	25 PPM	2
PH ₃	AIRE FRESCO	0	0.5 PPM PH ₃	0.5 PPM	1
HCN	AIRE FRESCO	0	10 PPM HCN	10 PPM	4
**ClO ₂	AIRE FRESCO	0	2 PPM Cl ₂	0.8 PPM	6
IR CO ₂ (10% V)	AIRE FRESCO	0.03%	2.5% CO ₂	2.50%	2
IR BUTANO (25% V)	AIRE FRESCO	0	8% BUTANO	8%	2
IR PROPANO (100% V)	AIRE FRESCO	0	50% PROPANO	50%	2
IR METANO (100% V)	AIRE FRESCO	0	50% METANO	50%	2

Los valores de intervalo se pueden cambiar si se utilizan diferentes cilindros de gas que los que se indican en la lista. Los cambios se pueden hacer con el software MSA Link.

*Ver Sección 5.6.

**Para obtener resultados más precisos, se recomienda la calibración con ClO₂.

***El tiempo de calibración cero es un minuto si se instala un sensor IR o de combustibles catalíticos, y 30 segundos si no se instala.

Certificaciones

Consulte en la etiqueta del instrumento las certificaciones que correspondan a su unidad específica.

USA / NRTL (Seguridad intrínseca, no para minería)	UL913 para Clase I, Div. 1, Grupos A, B, C y D, Clase II, Div. 1, -40° C a +50° C, T4 (Vea en la etiqueta del instrumento marcas adicionales de certificación.)
Canadá / CSA (Seguridad intrínseca, rendimiento de combustible, no para minería)	CSA C22.2 No. 157 para Clase I, Div. 1, Grupos A, B, C y D CSA C22.2 No. 152 M1984 Rendimiento de combustible Tamb = -40° C a +50° C, T4 para seguridad intrínseca Tamb = -20° C a +50° C, T4 para rendimiento de combustible
Unión Europea / ATEX - FTZU (Seguridad intrínseca, industrial y minería)	ALTAIR5X (sin sensor XCell™ Ex instalado) ATEX I M1 Ex ia I Ma ATEX II 1G Ex ia IIC T3/T4 Ga, Tamb = -40° C a +50° C ALTAIR5X (con sensor XCell™ Ex instalado) ATEX I M1 Ex ia I Ma ATEX II 2G Ex d ia mb IIC T3/T4 Gb, Tamb = -40° C a +50° C ALTAIR5XIR ATEX I M2 Ex ia e I Mb ATEX II 2G Ex ia d e mb IIC T4 Gb, Tamb = -40° C a +50° C EN60079-0, EN60079-1, EN60079-7, EN60079-11, EN60079-18, EN60079-26, EN50271 CE 0080
IECEx (Seguridad intrínseca, industrial y minería - TestSafe)	ALTAIR5X (sin sensor XCell™ Ex instalado) Ex ia I IP65 Ex ia IIC T4 IP65, Tamb = -40° C a +50° C ALTAIR5X (con sensor XCell™ Ex instalado) Ex d ia I IP65 Ex d ia IIC T4 IP65, Tamb = -40° C a +50° C ALTAIR5XIR Ex d ia I IP65 Ex d ia IIC T4 IP65, Tamb = -40° C a +50° C IEC60079-0, IEC60079-1, IEC60079-7, IEC60079-11, IEC60079-18, IEC60079-26
Australia (Seguridad intrínseca, industrial y minería - TestSafe)	ALTAIR5X / ALTAIR5XIR Ex ia s Zona 0 I IP65 Ex ia s Zona 0 IIC T4 IP65, Tamb = -40° C a +50° C IEC60079-0, IEC60079-1, IEC60079-11, AS-1826

III. RESULTADOS

3.1. Resultados de las mediciones de las emisiones.

Tabla 1

Mediciones durante el secado al sol de los plásticos

Compuesto	T, °C	Concentración, ppm	
		PET	HDPE
Monóxido de carbono	29	2	3
Dióxido de carbono	29	12	12
Benceno	29	0,001	0,001
Tolueno	29	0,001	0,001
Xileno	29	-	0,001
Acetaldehído	29	-	-
Benzaldehído	29	-	-
Benzoato de vinilo	29	-	-
Acetaldehído	29	-	-
Formaldehído	29	-	-

Fuente: Datos experimentales.

PET Polietileno tereftalato

HDPE Polietileno de alta densidad.

Peso de las muestras: 1Kg

Tiempo de exposición: 30 minutos.

Distancia de medición: De 0,5m a 1 m.

En la tabla 1. Se reportan el resultado de las mediciones hechas durante el secado al sol de las muestras de plásticos PET y HDPE, como se observa a la temperatura de 29°C hay una pequeña emisión de monóxido y dióxido de carbono, siendo la emisión mayor la del CO₂, así mismo se ha registrado una ínfima emisión de aromáticos que no supera el 0,001 ppm.

Tabla 2

Mediciones durante el calentamiento a 40°C de los plásticos

Compuesto	T, °C	Concentración, ppm	
		PET	HDPE
Monóxido de carbono	40	3	3
Dióxido de carbono	40	15	14
Benceno	40	0,05	0,07
Tolueno	40	0,06	0,06
Xileno	40	-	0,009
Acetaldehído	40	0,001	0,001-
Benzaldehído	40	0,001	0,002
Benzoato de vinilo	40	0,001	0,001
Acetaldehído	40	-	-
Formaldehído	40	-	-

Fuente: Datos experimentales.

PET Polietileno tereftalato

HDPE Polietileno de alta densidad.

Peso de las muestras: 1 kg

Tiempo de exposición: 30 min

Distancia de medición: De 0,5m a 1 m.

En la tabla 2. Se reportan el resultado de las mediciones hechas durante el calentamiento de las muestras de plásticos PET y HDPE, como se observa a la temperatura de 40°C hay una emisión más significativa del monóxido y dióxido de carbono, siendo la emisión mayor la del CO₂, así mismo se ha registrado aumento en las emisiones de aromáticos alcanzando el 0,07 ppm.

Tabla 3

Mediciones durante el calentamiento a 50°C de los plásticos

Compuesto	T, °C	Concentración, ppm	
		PET	HDPE
Monóxido de carbono	50	5	6
Dióxido de carbono	50	19	18
Benceno	50	0,09	0,09
Tolueno	50	0,08	0,08
Xileno	50	-	0,011
Acetaldehído	50	0,006	0,006
Benzaldehído	50	0,007	0,006
Benzoato de vinilo	50	0,004	0,003
Acetaldehído	50	-	-
Formaldehído	50	-	-

Fuente: Datos experimentales.

PET Polietileno tereftalato

HDPE Polietileno de alta densidad.

Peso de las muestras: 1 kg

Tiempo de exposición: 30 min

Distancia de medición: De 0,5m a 1 m.

En la tabla 3. Se reportan el resultado de las mediciones hechas durante el calentamiento de las muestras de plásticos PET y HDPE, como se observa a la temperatura de 50°C hay una emisión más significativa del monóxido y dióxido de carbono, siendo la emisión mayor la del CO₂, llegando a 19ppm, así mismo se ha registrado aumento en las emisiones de aromáticos alcanzando el 0,09 ppm. Los aldehídos también van aumentando, al igual que benzoato de vinilo.

Tabla 4

Mediciones durante el calentamiento a 60°C de los plásticos

Compuesto	T, °C	Concentración, ppm	
		PET	HDPE
Monóxido de carbono	60	9	10
Dióxido de carbono	60	24	23
Benceno	60	0,12	0,13
Tolueno	60	0,10	0,10
Xileno	60	0,08	0,07
Acetaldehído	60	0,009	0,009
Benzaldehído	60	0,009	0,009
Benzoato de vinilo	60	0,007	0,008
Acetaldehído	60	-	-
Formaldehído	60	-	-

Fuente: Datos experimentales.

PET Polietileno tereftalato

HDPE Polietileno de alta densidad.

Peso de las muestras: 1 kg

Tiempo de exposición: 30 min

Distancia de medición: De 0,5m a 1 m.

En la tabla 4. Se reportan el resultado de las mediciones hechas durante el calentamiento de las muestras de plásticos PET y HDPE, como se observa a la temperatura de 60°C hay una emisión más significativa del monóxido y dióxido de carbono, siendo la emisión mayor la del CO₂, llegando a 24ppm, así mismo se ha registrado aumento en las emisiones de aromáticos alcanzando el 0,13 ppm. Los aldehídos también van aumentando, al igual que benzoato de vinilo (0,008ppm).

Tabla 5

Mediciones durante el calentamiento a 70°C de los plásticos

Compuesto	T, °C	Concentración, ppm	
		PET	HDPE
Monóxido de carbono	70	26	24
Dióxido de carbono	70	39	37
Benceno	70	0,24	0,22
Tolueno	70	0,21	0,21
Xileno	70	0,14	0,16
Acetaldehído	70	0,014	0,017
Benzaldehído	70	0,015	0,017
Benzoato de vinilo	70	0,010	0,011
Acetaldehído	70	-	-
Formaldehído	70	-	-

Fuente: Datos experimentales.

PET Polietileno tereftalato

HDPE Polietileno de alta densidad.

Peso de las muestras: 1 kg

Tiempo de exposición: 30 min

Distancia de medición: De 0,5m a 1 m.

En la tabla 5. Se reportan el resultado de las mediciones hechas durante el calentamiento de las muestras de plásticos PET y HDPE, como se observa a la temperatura de 70°C hay una emisión más alta de monóxido y dióxido de carbono, siendo la emisión mayor la del CO₂ (39ppm), así mismo se ha registrado aumento en las concentraciones de aromáticos alcanzando el 0,24 ppm del benceno. Los aldehídos igualmente se ha también van aumentando, al igual que benzoato de vinilo (0,011ppm).

Tabla 6

Mediciones durante el calentamiento a 80°C de los plásticos

Compuesto	T, °C	Concentración, ppm	
		PET	HDPE
Monóxido de carbono	80	34	37
Dióxido de carbono	80	43	45
Benceno	80	0,41	0,46
Tolueno	80	0,27	0,29
Xileno	80	0,19	0,21
Acetaldehído	80	0,019	0,023
Benzaldehído	80	0,018	0,021
Benzoato de vinilo	80	0,014	0,020
Acetaldehído	80	-	-
Formaldehído	80	-	-

Fuente: Datos experimentales.

PET Polietileno tereftalato

HDPE Polietileno de alta densidad.

Peso de las muestras: 1 kg

Tiempo de exposición: 30 min

Distancia de medición: De 0,5m a 1 m.

En la tabla 6. Se reportan el resultado de las mediciones hechas durante el calentamiento de las muestras de plásticos PET y HDPE, como se observa a la temperatura de 80°C hay una emisión más alta de monóxido y dióxido de carbono, siendo la emisión mayor la del CO₂ (45ppm), así mismo se ha registrado aumento en las concentraciones de aromáticos alcanzando el 0,46 ppm del benceno. Los aldehídos igualmente se ha también van aumentando, al igual que benzoato de vinilo (0,020ppm).

Tabla 7

Mediciones durante el calentamiento a 90°C de los plásticos

Compuesto	T, °C	Concentración, ppm	
		PET	HDPE
Monóxido de carbono	90	41	46
Dióxido de carbono	90	64	71
Benceno	90	0,49	0,57
Tolueno	90	0,32	0,38
Xileno	90	0,27	0,31
Acetaldehído	90	0,049	0,051
Benzaldehído	90	0,035	0,044
Benzoato de vinilo	90	0,027	0,038
Acetaldehído	90	0,012	0,016
Formaldehído	90	0,014	0,025

Fuente: Datos experimentales.

PET Polietileno tereftalato

HDPE Polietileno de alta densidad.

Peso de las muestras: 1 kg

Tiempo de exposición: 30 min

Distancia de medición: De 0,5m a 1 m.

En la tabla 7. Se reportan el resultado de las mediciones hechas durante el calentamiento de las muestras de plásticos PET y HDPE, como se observa a la temperatura de 90°C hay una emisión más alta de monóxido y dióxido de carbono, siendo la emisión mayor la del CO₂ (71ppm), así mismo se ha registrado aumento en las concentraciones de aromáticos alcanzando el 0,57 ppm del benceno. Los aldehídos igualmente se ha también van aumentando, al igual que benzoato de vinilo (0,038ppm). A partir de los 90°C hay emisión de acetaldehído y formaldehído.

Tabla 8

Mediciones durante el calentamiento a 100°C de los plásticos

Compuesto	T, °C	Concentración, ppm	
		PET	HDPE
Monóxido de carbono	100	49	55
Dióxido de carbono	100	69	77
Benceno	100	0,86	0,91
Tolueno	100	0,64	0,75
Xileno	100	0,52	0,56
Acetaldehído	100	0,083	0,094
Benzaldehído	100	0,066	0,071
Benzoato de vinilo	100	0,064	0,086
Acetaldehído	100	0,063	0,070
Formaldehído	100	0,059	0,065

Fuente: Datos experimentales.

PET Polietileno tereftalato

HDPE Polietileno de alta densidad.

Peso de las muestras: 1 kg

Tiempo de exposición: 30 min

Distancia de medición: De 0,5m a 1 m.

En la tabla 8. Se reportan el resultado de las mediciones hechas durante el calentamiento de las muestras de plásticos PET y HDPE, como se observa a la temperatura de 100°C hay una emisión más alta de monóxido y dióxido de carbono, siendo la emisión mayor la del CO₂ (77ppm), así mismo se ha registrado aumento en las concentraciones de aromáticos alcanzando el 0,91 ppm del benceno. Los aldehídos igualmente se ha también van aumentando, al igual que benzoato de vinilo (0,086ppm). A 100°C hay una mayor emisión de acetaldehído y formaldehído.

Tabla 9

Mediciones durante el calentamiento a 150°C de los plásticos

Compuesto	T, °C	Concentración, ppm	
		PET	HDPE
Monóxido de carbono	150	74	89
Dióxido de carbono	150	94	97
Benceno	150	1,36	1,48
Tolueno	150	1,12	1,23
Xileno	150	1,05	1,11
Acetaldehído	150	0,63	0,82
Benzaldehído	150	0,47	0,51
Benzoato de vinilo	150	0,54	0,63
Acetaldehído	150	0,83	0,95
Formaldehído	150	0,92	0,96

Fuente: Datos experimentales.

PET Polietileno tereftalato

HDPE Polietileno de alta densidad.

Peso de las muestras: 1 kg

Tiempo de exposición: 30 min

Distancia de medición: De 0,5m a 1 m.

En la tabla 9. Se reportan el resultado de las mediciones hechas durante el calentamiento de las muestras de plásticos PET y HDPE, como se observa a la temperatura de 150°C hay una emisión más alta de monóxido y dióxido de carbono, siendo la emisión mayor la del CO₂ (97ppm), así mismo se ha registrado aumento en las concentraciones de aromáticos alcanzando el 1,48 ppm del benceno. Los aldehídos igualmente se ha también van aumentando, al igual que benzoato de vinilo (0,63ppm). A 150°C hay una mayor emisión de acetaldehído (0,95ppm) y formaldehído (0,96ppm).

Tabla 10

Mediciones durante el calentamiento a 200°C de los plásticos

Compuesto	T, °C	Concentración, ppm	
		PET	HDPE
Monóxido de carbono	200	92	101
Dióxido de carbono	200	125	138
Benceno	200	2,47	2,57
Tolueno	200	2,35	2,77
Xileno	200	2,63	2,79
Acetaldehído	200	1,21	1,37
Benzaldehído	200	1,55	1,82
Benzoato de vinilo	200	1,44	1,53
Acetaldehído	200	1,63	1,78
Formaldehído	200	1,50	1,74

Fuente: Datos experimentales.

PET Polietileno tereftalato

HDPE Polietileno de alta densidad.

Peso de las muestras: 1 kg

Tiempo de exposición: 30 min

Distancia de medición: De 0,5m a 1 m.

En la tabla 10. Se reportan el resultado de las mediciones hechas durante el calentamiento de las muestras de plásticos PET y HDPE, como se observa a la temperatura de 200°C hay una emisión más alta de monóxido y dióxido de carbono, siendo la emisión mayor la del CO₂ (138ppm), así mismo se ha registrado aumento en las concentraciones de aromáticos alcanzando el 2,57 ppm del benceno. Los aldehídos igualmente se ha también van aumentando, al igual que benzoato de vinilo (1,53ppm). A 200°C hay una mayor emisión de acetaldehído (1,78ppm) y formaldehído (1,74ppm).

Tabla 11

Mediciones durante el calentamiento a 250°C de los plásticos

Compuesto	T, °C	Concentración, ppm	
		PET	HDPE
Monóxido de carbono	250	321	367
Dióxido de carbono	250	412	420
Benceno	250	4,73	4,93
Tolueno	250	4,79	4,95
Xileno	250	3,54	3,58
Acetaldehído	250	3,10	3,24
Benzaldehído	250	2,76	2,89
Benzoato de vinilo	250	2,60	2,87
Acetaldehído	250	3,31	3,59
Formaldehído	250	3,46	3,61

Fuente: Datos experimentales.

PET Polietileno tereftalato

HDPE Polietileno de alta densidad.

Peso de las muestras: 1 kg

Tiempo de exposición: 30 min

Distancia de medición: De 0,5m a 1 m.

En la tabla 11. Se reportan el resultado de las mediciones hechas durante el calentamiento de las muestras de plásticos PET y HDPE, como se observa a la temperatura de 250°C hay una emisión más alta de monóxido y dióxido de carbono, siendo la emisión mayor la del CO₂ (420ppm), así mismo se ha registrado aumento en las concentraciones de aromáticos alcanzando el 4,93 ppm del benceno. Los aldehídos igualmente se ha también van aumentando, al igual que benzoato de vinilo (2,87ppm). A 250°C hay una mayor emisión de acetaldehído (3,59ppm) y formaldehído (3,61ppm).

Tabla 12

Mediciones durante el calentamiento a 300°C de los plásticos

Compuesto	T, °C	Concentración, ppm	
		PET	HDPE
Monóxido de carbono	300	672	689
Dióxido de carbono	300	814	853
Benceno	300	6,47	6,75
Tolueno	300	5,66	5,81
Xileno	300	5,28	5,34
Acetaldehído	300	5,32	5,54
Benzaldehído	300	4,30	4,63
Benzoato de vinilo	300	4,17	4,51
Acetaldehído	300	6,34	6,13
Formaldehído	300	7,59	7,85

Fuente: Datos experimentales.

PET Polietileno tereftalato

HDPE Polietileno de alta densidad.

Peso de las muestras: 1 kg

Tiempo de exposición: 30 min

Distancia de medición: De 0,5m a 1 m.

En la tabla 12. Se reportan el resultado de las mediciones hechas durante el calentamiento de las muestras de plásticos PET y HDPE, como se observa a la temperatura de 300°C hay una emisión más alta de monóxido y dióxido de carbono, siendo la emisión mayor la del CO₂ (853ppm), así mismo se ha registrado aumento en las concentraciones de aromáticos alcanzando el 6,75 ppm del benceno. Los aldehídos igualmente se ha también van aumentando, al igual que benzoato de vinilo (4,51ppm). A 300°C hay una mayor emisión de acetaldehído (6,13ppm) y formaldehído (7,85ppm).

IV. DISCUSIÓN

La finalidad de esta tesis fue demostrar qué durante el reciclaje de los materiales plásticos, en las etapas aquellas en las cuales se requiere un tratamiento térmico, que generalmente consiste en la fusión del material que se está reciclando, a altas temperaturas, superiores a los 250°C, se producen emisiones de sustancias tóxicas de manera masiva, lo cual demuestra que el reciclaje del plástico que requiere de tratamiento térmico, es altamente contaminante para la atmósfera y muy tóxico para el organismo humano y que por lo tanto, aún cumpliendo con medidas de protección ambiental muy estrictas debe ser prohibido por sus efectos negativos.

Para desarrollar la parte experimental de la tesis se seleccionó como material de trabajo dos tipos de plásticos reciclables clasificados como termoplásticos, que pertenecen al número 1 y 2, que corresponden al Polietileno tereftalato (PET) y al Polietileno de alta densidad (HDPE), dos de los plásticos de mayor uso y que incluso se emplean en la fabricación de recipientes y utensilios que están en contacto con el agua potable y los alimentos. Las muestras de ambos materiales se trataron por separado, siguiendo para ello el mismo procedimiento, similar al que se usa para el reciclaje industrial. Se hicieron mediciones desde el momento en que ambos materiales se sometieron a secado bajo el sol, a una temperatura de 29°C, donde se detectó presencia de dióxido de carbono y de monóxido de carbono, conforme se fue incrementando la temperatura se detectó la presencia de otros compuestos químicos tóxicos pertenecientes a los hidrocarburos aromáticos (benceno, Tolueno y xileno) de los cuales el benceno es el más peligroso ya se ha comprobado que es cancerígeno, además de mutagénico. Otros de los compuestos determinados entre los vapores y gases que se desprenden del plástico reciclado son los aldehídos entre ellos el acetaldehído y el formaldehído también considerados cancerígenos.

Se ha demostrado durante el desarrollo experimental de la tesis que en el intervalo en el que se desarrollan temperaturas que van desde 90°C hasta 150°C hay una mayor emisión de compuestos orgánicos volátiles de ellos se han podido registrar y cuantificar el benceno, tolueno, xileno, acetaldehído, acetofenona, benzaldehído y benzoato de vinilo. Después de los 200°C se inicia el desprendimiento masivo de acetaldehído y del formaldehído. Cabe resaltar que cuanto más alta es la temperatura de reciclaje o de tratamiento del plástico, mayor es la cantidad de sustancias que se emiten y en mucha mayor cantidad.

V. CONCLUSIONES

1. Experimentalmente se ha demostrado que el reciclaje del plástico por métodos térmicos influye significativamente en la contaminación atmosférica del entorno donde se localiza la planta, introduciendo a ella gases de efecto invernadero y compuestos orgánicos volátiles.
2. La concentración promedio de compuestos orgánicos volátiles en la atmósfera de la zona aledaña a la planta de reciclaje es de aproximadamente 6 ppm.
3. La concentración de gases de efecto invernadero en las zonas aledañas a la planta de reciclaje es de 800 ppm.

VI. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda hacer mediciones de otros componentes del plástico que corresponden a los compuestos orgánicos volátiles y a diferente distancia de la zona de generación de los gases que se emiten.
2. Se recomienda hacer un estudio sobre los otros plásticos numerados del 2 al 7, cuando estos son sometidos a calentamiento, establecer qué tipo de sustancias se emiten y en qué proporción son descargados a la atmósfera.

VII. FUENTES DE INFORMACIÓN.

- [1] E. Aljarrat, “La contaminación química del plástico, una amenaza silenciosa”, Artículo científico, Departamento de Química Ambiental, Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua (IDAEA - CSIC), España, 2019.
- [2] C. Giacobelli, “El plástico como polímero contaminante del medio ambiente”, Artículo científico, Revista Industria y medio ambiente, México, N°5, 2020.
- [3] R. Huanaco, “Diagnóstico de la presencia de microplásticos en sedimentos laterales en la cuenca baja del río Rímac”, Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Perú, 2019
- [4] K. Pinchi, “Evaluación de la contaminación por plásticos en playas del río Nanay, región Loreto - 2021”, Tesis de pregrado, Universidad Científica del Perú, 2019.

ANEXOS

Anexo 1: Descripción del funcionamiento del equipo ALTAIR 5X PID

4 Funcionamiento

El funcionamiento del dispositivo se maneja desde la pantalla mediante los tres botones de función (→ Fig. 2 "Vista del dispositivo").

Para obtener información complementaria, consulte los diagramas de flujo en el capítulo 11 "Diagramas de flujo".

4.1 Factores ambientales

La lectura del sensor de gas puede verse afectada por varios factores ambientales como los cambios de presión, humedad y temperatura. Los cambios de presión y humedad afectan la cantidad de oxígeno presente realmente en la atmósfera.

Cambios de presión

Si la presión cambia rápidamente (p. ej. al pasar por un compartimiento estanco), la lectura del sensor de oxígeno puede variar temporalmente y hacer que el dispositivo entre en condición de alarma. Mientras que el porcentaje de oxígeno puede permanecer en o cerca de un valor de 20.8 vol. %, la cantidad total de oxígeno presente en la atmósfera, disponible para la respiración puede representar un riesgo si la presión general se reduce en un grado significativo.

Cambios de humedad

Si la humedad varía en un grado significativo (p. ej. pasando de un ambiente seco y climatizado a un ambiente exterior con el aire cargado de humedad), las lecturas del oxígeno pueden reducirse de hasta el 0.5 %, debido al desplazamiento del oxígeno por parte del vapor de agua.

El sensor de oxígeno cuenta con un filtro especial para reducir los efectos de los cambios de humedad sobre las lecturas de oxígeno. Este efecto no se nota de inmediato, sino que influye lentamente en las lecturas de oxígeno a lo largo de varias horas.

Cambios de temperatura

Los sensores tienen una función integrada de compensación de la temperatura. Sin embargo, si la temperatura cambia radicalmente, la lectura del sensor puede cambiar.

Cambios combinados de humedad y temperatura

Cuando el dispositivo se calibra en un ambiente seco y climatizado y se lleva luego a un ambiente exterior con alta temperatura y alta humedad, se puede disparar una alarma baja o alta de VOC debido al cambio repentino. Se recomienda limpiar los sensores PID antes de esta transición para evitar esta situación, o bien climatizar el sensor al ambiente exterior en una área segura.

4.2 Encendido y configuración de aire limpio

El funcionamiento del dispositivo se maneja desde la pantalla mediante los tres botones de función (→ Fig. 2 "Vista del dispositivo").

Para obtener información complementaria, consulte los diagramas de flujo en el capítulo 11 "Diagramas de flujo".

Encienda el dispositivo con el botón Φ .

El dispositivo realiza una prueba automática:

Durante la prueba automática, el dispositivo revisa los leds de alarma, la alarma audible, la alarma vibratoria y los sensores instalados.

En el dispositivo aparecen:

- El logotipo inicial
- La versión del software, el número de serie del dispositivo, el nombre de la empresa, el departamento y los nombres de los usuarios
- El identificador ID IC / FCC
- La prueba de seguridad del sistema de muestreo

Durante la secuencia de encendido, si un sensor se ha cambiado desde el uso anterior del dispositivo, aparece la lista actual de sensores instalados y la operación requerida por parte del usuario.

El usuario debe aceptar la nueva configuración presionando el botón ▲.

Si la configuración del sensor actual no está aceptada, el dispositivo entra en condición de alarma y no es utilizable.

- La página de identificación FCC
- El tipo de gas combustible y la indicación del sensor instalado
- El tipo de gas VOC, el valor de la lámpara, el rango detectable y el factor de respuesta
- Los parámetros de alarma baja
- Los parámetros de alarma alta
- Los parámetros de alarma STEL (si está habilitada)
- Los parámetros de alarma TWA (si está habilitada)
- Las configuraciones para el cilindro de calibración
- La fecha actual
- La fecha de la última calibración (si está habilitada)
- La fecha de la calibración programada; si la fecha de la calibración programada está habilitada, en la pantalla del dispositivo aparece el mensaje **"CAL DUE; X DAYS"** [Calibración programada; x días].
 - X = el número de días que faltan para la calibración; el usuario puede seleccionarlo de 1 a 180 días.

Si el número de días para la calibración llega a 0, se activa una alerta y aparece **"CAL DUE, NOW"** [Calibración programada, ahora].

- Presione el botón π para borrar la alerta.
- El período de calentamiento del sensor
- La opción de configuración de aire limpio (si está habilitada)

Aparece la página principal de Medida.

La presencia del indicador ▼ en la pantalla significa que un sensor se está acercando o ha llegado al final de su vida útil. Consulte el capítulo 3.3 "Alarmas" para conocer los detalles de la situación de alarma de la vida del sensor.

Consulte el diagrama de flujo en el capítulo 11.1 "Funcionamiento básico".

Prueba de seguridad del sistema de muestreo

Al iniciar, se dispara una alarma (visual, audible y vibratoria) y se le pide al cliente que bloquee el sistema de bombas/muestreo del dispositivo en menos de 30 segundos.

Cuando el dispositivo detecta un bloqueo en el flujo de la bomba, aparece el mensaje de prueba superada. La secuencia de inicio se reanuda.

Si el dispositivo no detecta un bloqueo en el flujo de la bomba, aparece un mensaje de error.

El dispositivo se apaga una vez que el cliente ha reconocido este mensaje presionando el botón ▲.

Revise el sistema de muestreo si esto ocurre y póngase en contacto con MSA si es necesario.

Los usuarios pueden revisar el funcionamiento del sistema de muestreo en cualquier momento durante el uso, bloqueando el sistema de muestreo mismo para generar una alarma de la bomba.



ADVERTENCIA!

No use la bomba, la línea de muestreo ni la sonda a menos que la alarma de la bomba se active cuando el flujo está bloqueado. Si no se activa la alarma querrá decir que la muestra no ha llegado a los sensores, lo que podría causar lecturas inexactas. Hacer caso omiso de esta situación puede comportar lesiones graves o incluso la muerte. Nunca deje que el extremo de la línea de muestreo entre en contacto con agua o líquidos. Si el dispositivo se moja puede sufrir daños, y las lecturas serán inexactas. MSA recomienda el uso de una sonda de muestreo MSA que tenga un filtro de membrana especial, permeable al gas pero impermeable al agua, para evitar esta situación.

Configuración de aire limpio (FAS) al encender el dispositivo

La configuración de aire limpio (FAS, por sus siglas en inglés) consiste en una puesta a CERO automática del dispositivo.

Esta configuración presenta algunos límites. En presencia de una concentración peligrosa de gas, el dispositivo ignora la instrucción FAS y se activa la alarma.

Mediante el software MSA Link se puede deshabilitar la posibilidad de realizar la configuración FAS al encender el dispositivo.



ADVERTENCIA!

No realice la configuración de aire limpio a menos que tenga la certeza de estar en un ambiente contaminado y limpio; de no ser así, se pueden obtener lecturas inexactas que pueden indicar erróneamente que una atmósfera peligrosa es segura. En caso de duda sobre la calidad del aire en el entorno, no utilice la función de configuración de aire limpio. No use la configuración de aire limpio como sustituta de los controles diarios de calibración. Estos se requieren para verificar la exactitud de la calibración. Hacer caso omiso de esta advertencia puede comportar lesiones graves o incluso la muerte.

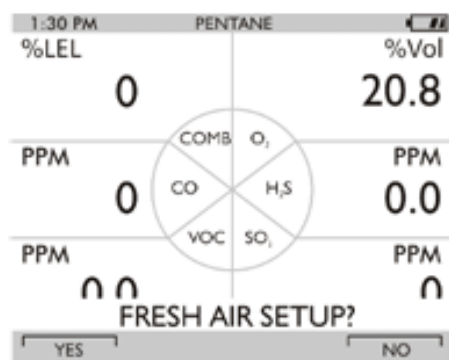


Fig. 7 Configuración de aire limpio

En la pantalla parpadea la pregunta "FRESH AIR SETUP?" [Configuración de aire limpio], recordándole al usuario realizar la configuración de aire limpio:

- (7) Presione el botón ▲ para omitir la configuración de aire limpio.
La configuración de aire limpio se omite y el dispositivo pasa entonces a la página de medición (página principal).
- (8) Presione el botón ▼ para realizar la configuración de aire limpio.
El dispositivo da inicio a la secuencia de configuración de aire limpio y aparece la pantalla FAS.
Una barra de progreso le muestra al usuario el progreso de la configuración FAS.
Al finalizar la configuración FAS, en la pantalla aparece ya sea "FRESH AIR SETUP PASS" [Configuración de aire limpio correcta] o "FRESH AIR SETUP FAIL" [Configuración de aire limpio incorrecta].

Si se ha producido un error en la configuración FAS, realice una puesta a cero (→ capítulo 4.10 "Calibración").

4.3 Consideraciones especiales acerca del sensor de oxígeno

Bajo las siguientes circunstancias, la lectura del sensor de oxígeno podría desaparecer hasta por 30 minutos al encender el dispositivo, ya que se realiza un ajuste del sensor.

Esto podría ocurrir si:

- el sensor de oxígeno acaba de instalarse
- la batería se ha descargado totalmente
- se ha quitado la batería del dispositivo

Durante este tiempo, la posición numérica del sensor de oxígeno en la pantalla indica "PLEASE WAIT" [Esperar]. Mientras este mensaje está presente, el dispositivo no puede responder a:

- Configuración de aire limpio
- Calibración
- Procedimiento de la prueba de verificación

Cuando aparece la lectura numérica del valor de oxígeno, se pueden llevar a cabo los procedimientos de configuración de aire limpio, calibración o prueba de verificación.

4.4 Modo Medición [Funcionamiento normal]

Las siguientes páginas de opciones pueden ejecutarse desde la pantalla de medición:

Página de VERIFICACIÓN		Esta página le permite al usuario realizar una prueba en los sensores instalados.
Página de valores pico*		Esta página muestra los valores pico de todos los sensores.
Página de valores mínimos		Esta página muestra los valores mínimos del sensor de oxígeno.
Página STEL*		Esta página muestra los valores calculados de STEL del dispositivo.
Página TWA*		Esta página muestra los valores calculados de TWA del dispositivo.
Página de fecha		Esta página muestra la configuración de la fecha real del dispositivo.
Página de fecha de la última calibr.		Esta página muestra la fecha de la última calibración.
Calibr. programada*		Esta página muestra la fecha establecida para la próxima calibración.
¿Cambiar gas VOC?		Esta página permite cambiar el tipo de gas VOC.
Modo Detección		Esta página le permite al usuario poner el dispositivo en el modo de detección Bluetooth para emparejarse con otro dispositivo.
Alerta de hombre caído		Esta página permite activar o desactivar la función MotionAlert (de hombre caído).

* La visualización de estas páginas puede desactivarse mediante el software MSA Link.

Para obtener más información al respecto, consulte el capítulo 12 "Resumen de las funciones variables".

4.5 Configuración del dispositivo

El dispositivo ofrece la posibilidad de ver y modificar los siguientes parámetros a través de una interfaz de acceso directo mediante botones:

- Opciones de calibración
- Opciones de alarma
- Opciones del instrumento

A estos menús se accede únicamente desde la página de medición, pulsando y manteniendo pulsados los botones ▼ y ▲ al mismo tiempo hasta que aparezca la petición de contraseña.

El procedimiento es el siguiente:

- (1) Encienda el dispositivo y espere hasta que aparezca la página de medición.
- (2) Presione y mantenga presionados al mismo tiempo los botones ▼ y ▲ durante unos cinco segundos.
 - a) La contraseña predeterminada es "672".

CONTRASEÑA



- (3) Introduzca el primer dígito presionando el botón ▼ o ▲ y confirme con el botón ⏏.
El cursor pasa al segundo dígito.
- (4) Introduzca el segundo y el tercer dígito.
Contraseña incorrecta: el dispositivo regresa a la página principal.
Contraseña correcta: el usuario puede entrar al modo de configuración.

La contraseña se puede cambiar con una computadora mediante el software MSA Link. Si se olvida la contraseña, se puede restablecer mediante el software MSA Link. Pida asistencia al Centro de atención al cliente de MSA. Las siguientes opciones están disponibles presionando los botones ▼ y ▲:

- Opciones de calibración - véase el capítulo "Configuración de la calibración"
- Opciones de alarma - véase el capítulo "Configuración de alarma"
- Opciones del instrumento - véase el capítulo "Opciones del instrumento"

Configuración de la calibración

OPCIONES DE CALIBRACIÓN



El menú de las opciones de calibración permite:

- Modificar las configuraciones del cilindro de calibración (CYLINDER SETUP) [Configuración del cilindro].
- Habilitar/deshabilitar la calibración programada y establecer el número de días (CAL DUE OPTIONS) [Opciones de calibración programada].
- Habilitar/deshabilitar la opción que permite ver la fecha de la última calibración en el momento del encendido (LAST CAL DATE) [Fecha de última calibración].
Si está habilitada, la fecha de la última calibración del dispositivo aparece durante el proceso de encendido.
- Habilitar/deshabilitar la opción para la calibración protegida con contraseña (CAL PASSWORD) [Contraseña de calibración].
Si está habilitada, la contraseña de configuración del dispositivo debe introducirse antes de la calibración.

Presione:

- el botón ▼ para pasar a la página siguiente
- el botón ▲ para regresar a la página anterior
- el botón ⏏ para entrar a la configuración

Configuración del cilindro de calibración

El cuadro de diálogo de esta opción es parecido al del procedimiento de calibración.

En la pantalla aparecen todos los sensores activos.

- (1) Presione el botón ⏏ para entrar a la configuración.
Aparece la pantalla del primer cilindro de calibración.
- (2) Presionar
el botón ▼ o ▲ para modificar el valor.
el botón ⏏ para confirmar la configuración.

Con esta confirmación, el dispositivo pasa automáticamente a la configuración del cilindro sucesivo.

- (3) Repita la secuencia para cambiar las configuraciones necesarias para todos los valores de gas requeridos.

Una vez realizada la última configuración, el dispositivo regresa al menú de opciones de calibración.



El único gas de calibración permitido para el sensor PID 0-2000 ppm es el isobutileno de 100 ppm balanceado en aire. Concentraciones más altas pueden dar lugar a lecturas incorrectas del sensor de CO.

Configuración de las opciones de calibración programada

- (1) Presione el botón ⏏ para entrar a la configuración.
- (2) Presione el botón ▼ o ▲ para habilitar/deshabilitar esta opción.
- (3) Presione el botón ⏏ para confirmar.

- (4) Tras la confirmación, el dispositivo le pide al usuario que introduzca el número de días para el recordatorio.
- (5) Modifique el número de días presionando el botón ▼ o ▲.
- (6) Presione el botón ⏪ para pasar al menú sucesivo.

Configuración de la fecha de la última calibración

- (1) Presione el botón ⏪ para habilitar/deshabilitar esta opción.
- (2) Presione el botón ▼ para pasar a la página sucesiva.
- (3) Presione el botón ▲ para regresar a la página anterior.

Configuración de la contraseña de calibración

- (1) Presione el botón ⏪ para habilitar/deshabilitar esta opción.
- (2) Presione el botón ▼ para pasar a la página sucesiva.
- (3) Presione el botón ▲ para regresar a la página anterior.

Regreso al menú principal

- (1) Presione el botón ⏪ para acceder al menú de configuración del dispositivo.
Aparece la pantalla de opciones de calibración.
- (2) Presione el botón ▼ para ir al menú sucesivo (opciones de alarma) o el botón ▲ para salir del menú de configuración.

Configuración de alarma

OPCIONES DE ALARMA



El menú de opciones de alarma le permite al usuario:

- Habilitar/deshabilitar la alarma vibratoria.
- Habilitar/deshabilitar la alarma audible (alarma sonora).
- Habilitar/deshabilitar los leds de alarma.
- Habilitar/deshabilitar la página de selección de la función MOTIONALERT.
Si está deshabilitada, el usuario no puede modificar la configuración MotionAlert del dispositivo.
- Configurar las alarmas del sensor.

Presionar

- el botón ▼ para pasar a la página siguiente
- el botón ▲ para regresar a la página anterior
- el botón ⏪ para entrar a la configuración

Configuración de la alarma vibratoria

Presione el botón ⏪ para habilitar/deshabilitar esta opción.

Configuración de la alarma sonora

Presione el botón ⏪ para habilitar/deshabilitar esta opción.

Configuración del led de alarma

Presione el botón ⏪ para habilitar/deshabilitar esta opción.

Configuración del acceso a la función MotionAlert

La configuración de este parámetro le permite al usuario acceder a la página MOTIONALERT desde la página de MEDICIÓN.

Si no se permite el acceso:

- El usuario no podrá acceder a la página MOTIONALERT para habilitar o deshabilitar la función.
- La función InstantAlert (capítulo 3.3 "Alarmas") no podrá activarse.

- (1) Para dar o negar al usuario el acceso a la página MOTIONALERT, use el botón para cambiar la selección correspondiente.

El acceso al usuario:

está permitido si la configuración está activada (ON).

no está permitido si la configuración está desactivada (ON).

- (2) La selección se confirma presionando el botón ▼ o ▲.

Configuración de las alarmas del sensor

En esta página se pueden modificar los valores predeterminados de las siguientes alarmas:

- Alarma BAJA
- Alarma ALTA
- Alarma STEL
- Alarma TWA



Los valores predeterminados de las alarmas se muestran en el capítulo 6.1 "Umbrales y puntos de control de alarma preconfigurados".

- (1) Presione el botón ⏏ para entrar a la configuración de las alarmas del sensor.

Aparece la pantalla de configuración de la alarma BAJA.

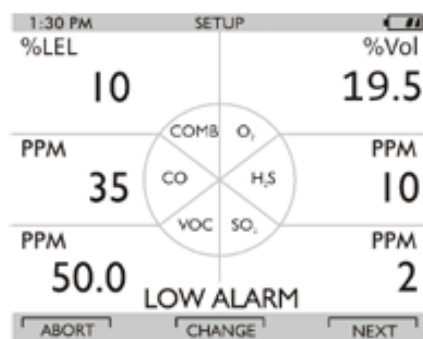


Fig. 8 Configuración de las alarmas del sensor

- (2) Presionar el botón ▼ o π para abandonar la operación o el botón ▲ para pasar a la configuración de la alarma sucesiva o el botón ⏏ para modificar los parámetros de las alarmas.

Aparece el valor de la alarma para el primer sensor.

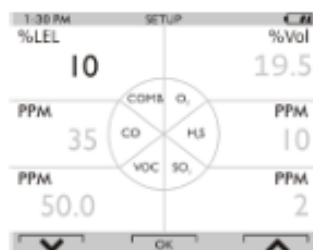


Fig. 9 Configuración de las alarmas del sensor

- (3) Configure los valores para la alarma del sensor presionando el botón ▼ o ▲.
- (4) Presione el botón ⏻ para confirmar el valor configurado.
- (5) Repita la configuración para los demás sensores.
- (6) Presione el botón ▲ para regresar al menú de opciones de alarma.
- (7) Repita la configuración para los demás tipos de alarma.

Opciones del instrumento

CONFIGURACIONES



El menú de opciones del instrumento permite modificar varias opciones del dispositivo:

- Configuración del sensor (habilitar/deshabilitar el canal)
- Configuración de idioma
- Configuración de fecha y hora
- Intervalos del registro de datos
- Modo silencioso
- Tono acústico de funcionamiento
- Opciones de retroiluminación
- Configuración del gas VOC
- Bluetooth

Presionar

- el botón ▼ para pasar a la página siguiente
- el botón ▲ para regresar a la página anterior
- el botón ⏻ para entrar a la configuración

Configuración de las opciones del sensor

- (1) Presione el botón ⏻ para entrar a la configuración.

Aparece la siguiente pantalla:

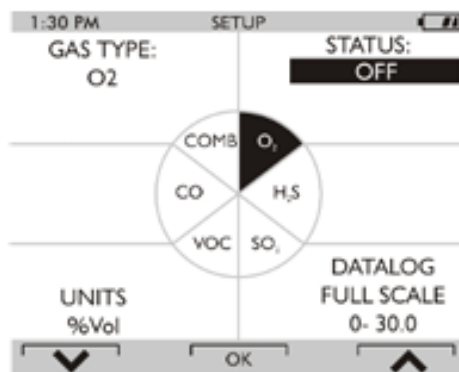


Fig. 10 Configuración de las opciones del sensor

- (2) Presione el botón ▼ para seleccionar el sensor; presione el botón ⏻ para realizar modificaciones.
Aparece la información sobre el sensor y este podrá habilitarse o deshabilitarse.



Otras operaciones como la modificación del tipo de gas combustible (metano, butano, propano, etc.) y las unidades (de ppm a mg/m3) pueden realizarse únicamente mediante el software MSA Link.

- (3) Modifique el estado presionando el botón ▼ o ▲.
- (4) Presione el botón ⏏ para confirmar y pasar a la pantalla sucesiva (sensor siguiente).
- (5) Realice el mismo procedimiento para los demás sensores.
Tras la configuración del último sensor, el dispositivo pasa a la siguiente página de configuración.

Configuración de idioma

Esta opción permite configurar el idioma del dispositivo.

- (1) Presione el botón ⏏ para entrar a la configuración.
- (2) Modifique el idioma presionando el botón ▼ o ▲.
- (3) Confirme con el botón ⏏.
El dispositivo pasa a la página de configuración sucesiva.

Configuración de fecha y hora

Esta opción permite configurar la fecha y la hora del dispositivo. En primer lugar aparece la configuración de la hora, y sucesivamente la de la fecha.



La hora se puede configurar en formato AM/PM o en el formato de 24 horas (mediante el software MSA Link). La hora AM/PM es la configuración predeterminada.

- (1) Presione el botón ⏏ para entrar a la configuración.
- (2) Modifique la hora presionando el botón ▼ o ▲.
- (3) Confirme con el botón ⏏.
- (4) Modifique los minutos presionando el botón ▼ o ▲.
- (5) Confirme con el botón ⏏.
El dispositivo pasa a la página de configuración de la fecha.
- (6) Modifique el mes, la fecha y el año presionando el botón ▼ o ▲ y confirmando con el botón ⏏.
El dispositivo pasa a la página de configuración sucesiva.
- (7) Confirme con el botón ⏏.
El dispositivo pasa a la página de configuración sucesiva.

Configuración del modo silencioso

El modo silencioso deshabilita las alarmas visual, audible y vibratoria.

- (1) Presione el botón ⏏ para cambiar el modo (ON/OFF).
- (2) Presione el botón ▼ para ir al menú sucesivo o el botón ▲ para regresar a la página anterior.

Configuración de los intervalos del registro de datos

Esta opción permite configurar los intervalos en los que desean registrarse todas las lecturas.

- (1) Presione el botón ⏏ para entrar a la configuración.
- (2) Modifique el intervalo presionando el botón ▼ o ▲.
- (3) Confirme con el botón ⏏.
El dispositivo pasa a la página de configuración sucesiva.

Configuración del tono acústico de funcionamiento

- (1) Presione el botón ⏏ para cambiar el modo (ON/OFF).
- (2) Presione el botón ▼ para ir al menú sucesivo o el botón ▲ para regresar a la página anterior.

Configuración de la retroiluminación

- (1) Presione el botón  para entrar a la configuración.
Modifique la opción presionando el botón ▼ o ▲.
- (2) Presione el botón  para entrar.
- (3) Modifique el tiempo límite presionando el botón ▼ o ▲.
- (4) Presione el botón  para confirmar el tiempo límite.

Configuración PID



ADVERTENCIA!

Es muy importante conocer los principios de funcionamiento del detector de fotoionización (PID) si se deben cambiar las configuraciones del mismo. Una identificación incorrecta del gas VOC que se está midiendo o una selección incorrecta de los valores de alarma del factor de respuesta (exposición, STEL, TWA) conforme al factor de respuesta deseado o a la lámpara correcta, pueden dar lugar a lecturas incorrectas o a límites de alarma erróneos que pueden provocar lesiones graves o incluso la muerte.

El sensor PID se debe configurar antes del uso inicial.

- (1) Introduzca la contraseña correcta, entre al menú de configuración del instrumento y presione el botón ▼ hasta que se resalte la configuración del gas VOC, y seleccione entonces OK.

Hay cinco páginas de configuración disponibles:

Página de configuración	
Habilitación Menú	Si la opción Habilitación Menú está activada (ON), el gas VOC se puede cambiar sin necesidad de introducir la contraseña. Cuando esta opción está activa, la opción "¿Cambiar gas VOC?" estará disponible desde la página principal de medición, como se describe en la sección 3.4 "Indicadores en pantalla". El parámetro predeterminado es ON.
Mantener gas VOC	Si la opción "Mantener gas VOC" está activada (ON), se conserva el gas VOC seleccionado actualmente al apagar y volver a encender el dispositivo. Si esta opción está desactivada (OFF), el dispositivo se encenderá siempre con el isobutileno configurado como tipo de gas VOC. Esta opción debería activarse (ON) si se va a monitorear siempre el mismo gas VOC. El parámetro predeterminado es ON.
Configuración Favoritos	Esta serie de páginas permite modificar la lista de Favoritos con los gases VOC adecuados para el entorno específico del usuario. La primera vez que se usa el dispositivo aparecen los diez gases favoritos predeterminados. La primera pantalla en la página Configuración Favoritos pregunta cuál de los gases favoritos se quiere sustituir. (1) Seleccione el gas que desea reemplazar presionando el botón ▼ o ▲ para resaltarlo y luego confirme con OK. <i>En la pantalla sucesiva se mostrarán los 10 gases favoritos actuales y las opciones Gases personalizados y Todos los gases.</i> (2) Seleccione el gas para añadirlo a la lista de gases favoritos y confirme con OK. <i>Aparece una pantalla de confirmación en la que se muestra el gas que se va a reemplazar y el gas que se va a añadir a la lista de gases favoritos.</i> <i>Si se selecciona SÍ, se regresa a la lista de gases favoritos donde aparece el nuevo gas; si en cambio se selecciona NO, se regresa a la lista de gases favoritos en la que aparecerán únicamente los gases favoritos anteriores; si se selecciona ABORT [Abandonar], se regresa a la página del menú.</i>

Página de configuración

	Este menú muestra todos los gases que puede detectar este tipo de sensor PID. Los gases aparecen en una lista abreviados con 8 caracteres. En el capítulo 10 "Tabla de factores de respuesta del PID" de este manual, encontrará la lista con los nombres completos de los gases. Los 10 primeros gases de la lista son los gases Favoritos, y a continuación siguen las opciones para la lista Todos los gases y la lista Gases personalizados. Los nombres de los gases que empiezan por letras de la A a la Z se muestran en orden alfabético. Cada página contiene 14 nombres de gases. (1) Seleccione el gas que le interesa presionando el botón ▼ o ▲ para resaltarlo y luego confirme con OK. Para ver una página entera, mantenga presionado el botón ▼ o ▲ durante más de 2 segundos.
Selección del gas VOC	Al seleccionar OK aparece una página de confirmación que presenta la siguiente información: • Nombre abreviado con 8 caracteres • Factor de respuesta (FR) del gas seleccionado • Valor máximo de dicho gas (valor de la escala completa del sensor x FR). El valor máximo se calcula multiplicando el rango del sensor por el FR. Por ejemplo, el valor máx. para el hexano es $2000 \times 4.5 = 9000$ ppm. El valor máximo no puede ser de más de 9999 ppm debido a restricciones de resolución de la pantalla. • La alarma alta, que muestra el valor actual de alarma alta. Modifíquelo si es necesario según el factor de respuesta. • La alarma baja, que muestra el valor actual de alarma baja. Modifíquelo si es necesario según el factor de respuesta.
Configuración Gas Cliente	La Configuración Gas Cliente consiste en la configuración de los gases personalizados y permite introducir un único nombre de gas con 8 caracteres y el factor de respuesta para hasta 10 gases personalizados. (1) Seleccione el gas personalizado (1 - 10) que desea introducir o sustituir. a) Confirme con OK. (2) En la pantalla sucesiva, introduzca el nombre del gas de 8 caracteres usando los botones ▼ o ▲ para seleccionar las letras y los números. a) Una vez introducidos los caracteres alfanuméricos requeridos, confirme con OK. (3) Tras la introducción del 8.º carácter, introduzca el factor de respuesta (0.1-40.0). <i>Una vez completado el FR, aparece la página final de confirmación.</i> (4) Seleccione OK para aplicar el gas personalizado como gas actual o seleccione NO y abandone el procedimiento para regresar a la página del menú.



ADVERTENCIA!

Una identificación incorrecta del gas VOC que se está midiendo o una selección incorrecta de los valores de alarma (exposición, STEL, TWA) conforme al factor de respuesta deseado o a la lámpara correcta, pueden dar lugar a lecturas incorrectas que pueden provocar lesiones graves o incluso la muerte.
