



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“Disminución de CO mediante un filtro de monolito de carbón de las emisiones generadas por pollerías del centro histórico de Trujillo. ”

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO(A) AMBIENTAL**

AUTORES:

Kenny Roy Cruz López

Jhanny Laura López Chávez

Kevin Anthony Saldaña López

ASESOR:

MSc. Ing. Isidoro Valderrama Ramos

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

Trujillo - Perú

2018

Dedicatoria

A Dios, por permitirnos llegar a este momento tan importante de nuestras vidas, por los triunfos y los momentos difíciles que nos enseñaron a valorar más lo que nos da cada día.

A mis padres Roy Cruz e Hilda López, por darme el placer de estar infinitamente orgulloso de ser su hijo, gracias por ser grandes ejemplos de perseverancia y lucha en sus vidas. A mis hermanos Krizia y Franco, que siempre fueron la fuerza motora para llegar a ser ejemplo como persona integral. A Zuren Alcántara, quien ha sido mi apoyo incondicional durante mi vida profesional.

A mis padres Norma Chávez y Luis López; quienes con su apoyo, amor y sacrificio ayudaron a construir mis alas y a cumplir un sueño más; a mis hermanas Jhuliza y Dayana por enseñarme que nada es imposible si uno cree; a mi mamita Sha y a mi abuelito Armando quienes son ejemplo de vida y amor; a mi familia que siempre están a mi lado impulsándome a ser mejor persona y profesional cada día. Todo esto es por ustedes.

A mis padres Julio Saldaña e Isabel López; por ser mi pilar fundamental y haberme apoyado incondicionalmente, por su amor, trabajo y sacrificio en todo este tiempo; gracias por brindarme incondicionalmente mi formación personal y profesional. A mis hermanos, Diogo, Kenny, Jessica, Franco y Krizia, por sus consejos y por su motivación para lograr todos mis metas propuestas. A mis tíos, Hilda, Roy, Ana, Santos, por sus consejos y por enseñarme que con esfuerzo todo puede lograrse. A mis abuelos, por el cariño y el amor que me brindaron.

Agradecimiento

A la Universidad Privada César Vallejo y a la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental, por todo lo aprendido a lo largo de nuestra formación académica hasta el momento a través de su plana docente.

Al nuestros asesores; MCs. Isidoro Valderrama y Dr. Chico Ruiz por su dedicación y tiempo brindado, en el transcurso de estos semestres, que con sus ideas y enseñanzas han permitido desarrollar habilidades cognitivas en nuestras personas.

Al Ing. Danny Mejía por la confianza, la orientación y el apoyo desinteresado durante todo el desarrollo de nuestra tesis.

A la Unidad de Fiscalización y Control Ambiental del SEGAT, que con su apoyo nos permitió cumplir con los objetivos planteados de nuestra tesis.

A todas aquellas personas que nos colaboraron y nos brindaron su apoyo para culminar con éxito la última etapa de nuestra vida universitaria.

A la familia Cruz López, López Chávez y Saldaña López por su apoyo incondicional y constante colaboración en nuestro desarrollo profesional.

Presentación

Señores miembros del jurado, de conformidad con las disposiciones legales y vigentes de grados y títulos de la Universidad César Vallejo – Trujillo, queda en consideración y elevado criterio la presente investigación de Tesis titulado:

“Disminución de CO mediante un filtro de monolito de carbón de las emisiones generadas por pollerías del centro histórico de Trujillo. ”

La presente investigación consta de 8 capítulos: El primer capítulo se menciona la introducción, que redacta; la realidad problemática; los trabajos previos referentes al tema, las teorías relacionadas al tema para complementar la investigación, la formulación del problema y justificación del estudio. En el segundo capítulo se explica el método utilizado, que incluye el diseño, la población, muestra y los análisis elaborados. En el tercer capítulo se muestran los resultados obtenidos, en el cuarto capítulo se redacta la discusión de los mismos; en el quinto capítulo se exponen las conclusiones a las que se ha llegado; en el sexto capítulo se proponen recomendaciones para posteriores investigaciones; en el séptimo capítulo se detallan las referencias bibliográficas que respaldan la información de esta tesis y finalmente en el octavo capítulo se detallan los anexos que contienen procedimientos, imágenes, tablas y demás que contribuyen a un mejor entendimiento del desarrollo de la investigación. Tiene como objetivo principal, determinar la disminución de la concentración de CO al usar un filtro de monolito de carbón de las emisiones generadas por pollerías del Centro Histórico de Trujillo.

La misma que someto a su consideración y espero que cumpla con los requisitos de aprobación para obtener el título profesional de Ingeniero Ambiental

INDICE

RESUMEN	10
ABSTRACT	11
I. INTRODUCCIÓN	12
1.1. Realidad Problemática	12
1.2. Trabajos Previos	13
1.3. Teorías relacionadas al tema	16
1.3.1. Marco teórico	16
1.3.1.1. Fuentes de energía usadas en las pollerías	16
1.3.1.2. Contaminación con CO y su impacto en la salud y el ambiente	16
1.3.1.3. Proceso de adsorción de gases	17
1.3.1.4. Carbón activado de cáscara de plátano	17
1.3.1.5.1. Regeneración del Carbón activado	18
1.3.1.5.2. Procesos de Activación	18
1.3.1.5.3. Factores que influyen en la adsorción de compuestos presentes en el aire	18
1.4. Formulación del problema	20
1.5. Justificación del estudio	20
1.6. Hipótesis	20
1.7. Objetivos	20
1.7.1. Objetivo General	20
1.7.2. Objetivos Específicos	21
II. MÉTODO	21
2.1. Tipo de estudio	21
2.2. Diseño experimental	21
2.3. Variables	22
2.3.1. Variable independiente	22
2.3.2. Variable dependiente	22
2.3.3. Operacionalización de variables	23
2.4. Población y muestra	24
2.4.1. Población	24
2.4.2. Muestra	24
2.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad	24
2.5.1. Técnicas e instrumentos	24
2.5.1.1. Técnica	24
2.5.1.2. Instrumento	25

2.5.2.	Validez y confiabilidad	25
2.6.	Métodos de análisis de datos	25
2.7.	Metodología	25
2.7.1.	Obtención del monolito de carbón	25
2.7.2.	Determinación del tamaño de poro en los monolitos	26
2.7.3.	Diseño y construcción del filtro	27
2.7.4.	Medición de las concentraciones de CO emitidas por las pollerías	27
III.	RESULTADOS	28
IV.	DISCUSIÓN	36
V.	CONCLUSIONES	40
VI.	RECOMENDACIONES	41
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42
	ANEXOS	46

INDICE DE FIGURAS

Figura N° 1.-	Variación de la concentración de CO respecto al tiempo, en la pollería evaluada, al aplicar el filtro MCP40-300.	30
Figura N° 2.-	Variación de la concentración de CO respecto al tiempo, en la pollería evaluada, al aplicar el filtro MCP60-300.	31
Figura N° 3.-	Variación de la concentración de CO respecto al tiempo, en la pollería evaluada, al aplicar el filtro MCP80-300.	32
Figura N° 4.-	Variación de la concentración de CO respecto al tiempo, en la pollería evaluada, al aplicar el filtro MCP40-600.	33
Figura N° 5.-	Variación de la concentración de CO respecto al tiempo, en la pollería evaluada, al aplicar el filtro MCP60-600.	33
Figura N° 6.-	Variación de la concentración de CO respecto al tiempo, en la pollería evaluada, al aplicar el filtro MCP80-600.	34
Figura N° 7:	Localización de puntos transversales para chimeneas rectangulares.	53
Figura N° 8:	Configuración de la matriz de puntos transversales para chimeneas rectangulares.	54
Figura N° 09:	Área y distribución de puntos transversales para chimeneas rectangulares.	54
Figura N° 10:	Estructura porosa del monolito MCP40-300	538
Figura N° 11:	Estructura porosa del monolito MCP60-300	548
Figura N° 12:	Estructura porosa del monolito MCP80-300	548
Figura N° 13:	Estructura porosa del monolito MCP40-600	538
Figura N° 14:	Estructura porosa del monolito MCP60-600	549

INDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Diseño de Investigación	22
Tabla N° 2: Operacionalización de variables	23
Tabla N° 3: Calibración y validación del instrumento de medición	25
Tabla N° 4: Generación del carbón activado a base de cáscara de plátano	28
Tabla N° 5: Evaluación general de parámetros en la chimenea de la pollería Bolívar	28
Tabla N° 6: Disminución de CO tras la aplicación de los filtros de monolito de carbón a diferentes concentraciones de ácido fosfórico y presión de compactación en la chimenea de la pollería evaluada	29
Tabla N° 7: Valores de las cuatro repeticiones de la disminución de CO mediante el filtro de monolito de carbón	63
Tabla N° 8: Prueba de normalidad para la presión de compactación	64
Tabla N° 9: Prueba de normalidad para la concentración de H_2PO_4	64
Tabla N° 10: Prueba de homogeneidad de varianzas	64
Tabla N° 11: Prueba de ANOVA	65
Tabla N° 12: Prueba Post Hoc - DHS de Tukey	66

RESUMEN

Las pollerías en la ciudad de Trujillo se han convertido en fuentes puntuales de contaminación del aire debido a las emisiones que generan; y al carecer de normativa que regule esta actividad no se evidencian medidas de mitigación para el problema; ante ello la presente investigación tuvo como finalidad disminuir la concentración de CO al usar un filtro de monolito de carbón activado, a base de cáscara de plátano, de las emisiones generadas por pollerías del Centro Histórico de Trujillo. Tuvo de un diseño bifactorial, en el cual se manipularon dos variables independientes aplicados en la elaboración de los monolitos de carbón: Concentración porcentual de ácido fosfórico (40%, 60% y 80%) y presión de compactación (300 psi y 600 psi). Los análisis estadísticos aplicados fueron la prueba de Wilk-Shapiro, ANOVA y la prueba Post Hoc Tukey. En la medición de las concentraciones de CO en la chimenea se usó el método establecido en la Norma Internacional de USEPA e-CFR Título 40, parte 60, Apéndice-1: Métodos 1 y el equipo de analizador de gases Testo 340-S. Finalmente se concluyó que el filtro de monolito de carbón, activado al 60% de ácido fosfórico y comprimido a 600 psi, es el que obtuvo una mejor disminución de CO (28.93%) al pasar de una concentración inicial de 877.50 ppm a 623.67 ppm de CO.

Palabras claves: *Monolito de Carbón activado, monóxido de carbono, cáscara de plátano.*

ABSTRACT

Pollerias in the city of Trujillo have become point sources of air pollution due to the ones they generate; and lacking regulations to regulate this activity in the case of evidence mitigation measures for the problem; In view of this, the present investigation had the purpose of decreasing the concentration of CO when using an activated carbon monolith filter, based on banana peel, of the emissions generated by pollerias in the Historic Center of Trujillo. It had a bifactorial design, in which two independent variables were manipulated, applied in the elaboration of the carbon monoliths: percent concentration of phosphoric acid (40%, 60% and 80%) and compaction pressure (300 psi and 600 psi). The statistical analyzes applied were the Wilk-Shapiro test, ANOVA and the Post Hoc Tukey test. In the measurement of CO concentrations was used the method established in the USEPA International Standard e-CFR Title 40, part 60, Appendix-1: Methods 1 and the gas analyzer equipment TESTO 340-S. Finally it was concluded that the carbon monolith filter, activated at 60% phosphoric acid and compressed at 600 psi, it is the one that obtained a better decrease in CO (28.93%) when going from an initial concentration of 877.50 ppm to 623.67 ppm of CO.

Keywords: *Activated carbón monolith, carbon monoxide, banana peel.*

I. INTRODUCCIÓN

I.1. Realidad Problemática

La contaminación al recurso aire a causa del aumento anormal de emisiones atmosféricas es un problema que con el tiempo se ha sido agravando, principalmente en aquellos países y ciudades que están en vías de desarrollo y que presentan actividades industriales, comerciales y de servicio en su territorio que no poseen medidas de control ambiental eficientes, perjudicando la calidad de aire de dicho lugar, como es el caso de la ciudad de Trujillo. Según detalla el Inventario de Emisiones de Fuentes Fijas de la Cuenca Atmosférica de la ciudad de Trujillo, el distrito de Trujillo tendría 25 fuentes puntuales, entre ellos principalmente el parque automotor y las industrias; y 1353 fuentes área de emisiones encontrándose dentro de ellas las actividades de servicio y comercio que dentro de sus procesos productivos se da la combustión; como por ejemplo las pollerías. (DIGESA, 2005)

Los establecimientos de pollerías están distribuidos por toda la ciudad porque es un servicio muy aceptado por la población y eso es bueno para la economía de los empresarios que se dedican a esta actividad. El problema surge al momento de obtener el producto (pollo a la brasa) y que por ello es objeto de esta investigación; debido a que, el informe antes citado y el estudio realizado por el programa Aire Limpio en cuatro ciudades (Lima, Arequipa, Cusco y Trujillo) y financiado por la Cooperación Suiza, mencionan que el humo que emanan los hornos de pollería producto de la combustión de la grasa con el combustible (carbón vegetal, GLP, Kerosene o leña), provocan una serie de partículas contaminantes, como NO_x, CO y otros gases, que se emiten al aire directamente sin ningún tratamiento previo. (PROGRAMA REGIONAL AIRE LIMPIO, 2005) Esto se suscita debido a que no existen disposiciones legales por parte del gobierno local que regulen lo que se emite por las chimeneas de las pollerías o que propicien la utilización de métodos para purificar sus emisiones. De igual manera, a pesar de que se tiene conocimiento de lo perjudicial que son estas emisiones para el ambiente e indirectamente a la salud de la población, no se han propuesto Límites Máximos Permisibles para este tipo de actividad en el Perú; y por ser una actividad peruana, no se puede tomar referencia de normas internacionales. Como no hay exigencia hacia las pollerías, los

dueños de estos establecimientos pueden ver como un gasto innecesario la aplicación de tratamientos para sus efluentes gaseosos y también los costos altos de inversión en estos tratamientos pueden ser poco atractivos para ellos. Por ello también, se ha propuesto utilizar como materia de partida para la elaboración del monolito de carbón a la cáscara de plátano, que tiene buen contenido de carbono y que difícilmente es reaprovechado; contribuyendo así a darle uso a este residuo agrícola.

1.2.Trabajos Previos

Según **IPARRAGUIRRE (2016)** en su investigación denominada “Formulación de propuestas de lavado de gases de combustión en las emisiones de las chimeneas de pollerías de la ciudad de Trujillo, Perú” propuso el uso de un lavador de gases de combustión para disminuir las emisiones atmosféricas generadas por las chimeneas de las pollerías ubicadas en la ciudad de Trujillo que llegan al medio ambiente produciendo contaminación. Mediante la aplicación del método volumétrico determinó la cantidad de fluido contaminante absorbido por una muestra en condiciones de presiones elevadas, concluyendo que colocar un sistema de lavado de gases de combustión en las chimeneas de estos establecimientos es eficiente debido a que reduciría hasta en un 88,4% las emisiones generadas por estas actividades.

De acuerdo a **NAVARRETE *et al.* (2014)** en su investigación “Elaboración de carbón activado a partir de materiales no convencionales, para ser usado como medio filtrante” que tuvo como uno de sus objetivos obtener carbón activado a base de cáscara de plátano para uso en adsorción de sustancias en medio acuoso, utilizó la activación química con ácido fosfórico al 40% de concentración en una relación de 1:2 y a 500 °C de temperatura; concluyendo que posee una alta adsorción de sustancias como arsénico en un 94.8% y coliformes totales al 100%. La autora recomienda el estudio de la aplicación en otros medios como el caso de la adsorción de gases en el aire.

Según **GALLEGO *et al.* (2013)** en su artículo “Calidad de aire interior: filtros de carbón activado para su mejora” evaluó la eficiencia de filtros de carbón activo en la reducción de compuestos orgánicos volátiles. Siendo sus resultados la presencia de una alta capacidad adsorbativa que oscila entre 60 y 70% para cetonas, alcanos,

hidrocarburos aromáticos, entre otros. Así mismo, al aplicar dos filtros en serie, en se observó que mejora la adsorción hasta en un 10%. Adicionalmente el carbón activado que se obtuvo eliminó ozono.

Según **BETANCUR (2012)** en su investigación denominada “Fabricación de monolitos de carbón activado para captura de gases contaminantes” tuvo como objetivo proponer un procedimiento para la elaboración de monolitos de carbón para aplicar en la adsorción de gases contaminantes. Se comparó entre el uso de carbón activado comercial y el obtenido de huesos de aceitunas como base para el conformado, evaluando la influencia que tendrían la resistencia mecánica, volumen de porosidad, % de aglomerante y presión de compactación; concluyendo que presentan gran influencia en la capacidad de adsorción y que la mayor capacidad de adsorción la presenta el carbón activado a partir de hueso de aceitunas con valores de presión de 10 bares y 5% de aglomerante PVA, llegando a absorber 40 mg/g de CO₂ y 140 mg/g de SO₂.

Según **SILVESTRE y RODRIGUEZ (2012)** en su investigación “Nuevos materiales de carbón para la captura de CO₂” tuvieron como objetivo determinar qué condiciones en los materiales de carbón activado adsorben CO₂ eficientemente ya sea en baja y alta presión, concluyendo que la estructura porosa y la buena química superficial influyen considerablemente; sobre todo si se desea absorber CO₂. Recomienda que el material carbonoso debe ser altamente microporoso con diámetros muy cercanos a 0,35 y 0,4 nm, ya que este compuesto es una molécula con un diámetro cinético de 0,33 nm.

Según **LÓPEZ et al. (2011)** en su artículo “Adsorción catalítica de NO a baja temperatura sobre monolitos de carbón activado” tuvo como objetivo desarrollar un monolito de carbón activado de tipo celular con capacidad de adsorción del contaminante NO, para ello empleó carboximetilcelulosa y brea de alquitranes de carbón. Las variables estudiadas fueron el efecto del O₂ y del cobre impregnado como catalizador. Tuvo como resultados una capacidad de adsorción de hasta 1678.8 ug NO/g, con presencia de O₂ y una aplicación de 500 psi de presión, de 10% de carboximetilcelulosa y 20% de brea de alquitranes.

Según **WAHBY (2011)** en su investigación “Monolitos de carbón activado, obtenidos a partir de brea de mesofase” tuvo como objetivo elaborar tamices

moleculares de carbón (TMCs) a base de brea de mesofase, llegando a la conclusión que al aplicarlos en forma de monolito presentan mayor capacidad de adsorción de Dióxido de carbono, a comparación del tipo de carbón en polvo, esta capacidad sobrepasa los 130 mg del contaminante por gramo de carbón.

Según **VARGAS *et al.* (2011)** en su estudio “Síntesis de Monolitos de Carbón activado: análisis comparativo entre las características texturales y energéticas determinadas mediante calorimetría de inmersión” quien tuvo como objetivo elaborar monolitos de carbón activado mediante la activación química de cáscara de coco con cloruro de zinc y ácido fosfórico; obteniendo como resultados monolitos con un amplio desarrollo de porosidad, con volúmenes de microporos entre 0,38 y 0,81 cm³/g, área superficial aparente entre 832 y 1546 m²/g.

Según **GIRALDO y MORENO (2010)** en su estudio “Adsorción de CO₂ en carbón activado con diferente grado de activación” tuvo como objetivo adsorber el compuesto CO₂ en diferentes muestras de carbón activado obtenido a partir de semillas de *Mucuna mutisiana*, las cuales fueron activadas con vapor de agua y nitrógeno a una temperatura de 700 °C en tiempos de activación de 1 a 9 horas. Tuvo como resultado carbones activado con área superficial entre 392 y 566 m²/g, lo cual le da una buena capacidad de adsorción. También que el tiempo de activación influye en la adsorción debido a que el volumen de CO₂ adsorbido es mayor para los carbones activados a mayor tiempo.

Según **LAVADO *et al.* (2010)** en su investigación “Adsorción de plomo de efluentes industriales usando carbones activados con H₃PO₄” tuvo como objetivo adsorber de los efluentes industriales el plomo mediante carbón a base de astillas de eucalipto, activado con H₃PO₄ a una temperatura de 600 °C. Teniendo como resultados una adsorción de 142,1 mg/g de plomo. Asimismo, se obtuvo carbones activados con una porosidad de tipo con micro y meso; con considerables áreas superficiales.

1.3. Teorías relacionadas al tema

1.3.1. Marco teórico

1.3.1.1. Fuentes de energía usadas en las pollerías

Para la elaboración de pollos a la brasa, se usa con mayor frecuencia el carbón como fuente de energía, esta puede ser proveniente de la alteración química y física de la materia vegetal.

Para el uso de la cantidad de carbón se debe tener en cuenta la calidad del producto como el tamaño del horno usado, existen hornos tradicionales que trabajan aproximadamente con 7 - 8 kg de carbón. (PROGRAMA REGIONAL AIRE LIMPIO, 2005).

1.3.1.2. Contaminación con CO y su impacto en la salud y el ambiente

El monóxido de carbono es un compuesto gaseoso, y presenta las siguientes características: inodoro e incolora. Se produce principalmente por una combustión incompleta con falta de oxígeno. Por su característica tóxica, es considerado un contaminante atmosférico de suma importancia y responsable del problema ambiental actual. Como fuentes principalmente se tiene al parque automotor por los vehículos con combustible diésel o gasolina; también a la incineración de residuos u otra materia orgánica y a actividades industriales y a eventos antropogénicos como incendios forestales. (TELLEZ, 2006)

El monóxido de carbono (CO) tiene una gran efecto en la salud, esto se debe a que este gas ingresa al organismo del ser humano a través de los pulmones, provocando la disminución del transporte de oxígeno en la sangre, causando daños en la oxigenación de tejidos y órganos, dolores de cabeza, fatiga, daños al sistema nervioso y disfunciones cardíacas. (REGISTRO ESTATAL DE EMISIONES Y FUENTES CONTAMINANTES, 2017)

Referirnos al impacto que genera el monóxido de carbono (CO) en el ambiente, trae consecuencias muy graves sobre el clima, ya que contribuye a la formación de gases de efecto invernadero.

Este gas tiene una lenta oxidación para la formación de dióxido de carbono (CO₂), luego ocasionando la generación del Ozono (O₃). (REGISTRO ESTATAL DE EMISIONES Y FUENTES CONTAMINANTES, 2017)

1.3.1.3. Proceso de adsorción de gases

El proceso de adsorción se da cuando las moléculas de un gas entran en contacto con la superficie de un sólido, adhiriéndose a su estructura. La presencia de estas fuerzas en la superficie del sólido es lo que llamamos adsorción, siendo el gas el denominado adsorbato y el sólido el adsorbente. Cuando inicia el proceso, la atracción del gas ejercida sobre la superficie sólida es alta, en el transcurso va disminuyendo la superficie sólida de contacto, disminuyendo de igual manera la velocidad de la adsorción hasta la saturación y/o punto de equilibrio (velocidades iguales). La clase de adsorción que se observa en forma adsorbente-adsorbato será acorde a la génesis que presente, a la presión, al área superficial y la temperatura. (RODRIGUEZ y MOLINA, 2008)

1.3.1.4. Carbón activado de cáscara de plátano

La cáscara de plátano es un desecho muy abundante debido a que el fruto se da en gran cantidad en el norte y la parte selva del Perú. El usarlo como materia para generar carbón activado es ventajoso debido a que se puede transportar fácilmente así como obtenerlo ser barato. Existen alrededor de unas 41 variedades de plátanos. (NAVARRETE *et al.*, 2014)

El 79% del seudotallo de plátano permanece en campo, el 6% es depositado como residuo y sólo 15% se usa para alimentación animal o abono. Este residuo es fuente de lignocelulosa por lo que puede ser usado como materia prima para la producción de papel; además, contiene aproximadamente 60% de celulosa, 16% de lignina, y 23% de hemicelulosa y minerales. (RAMIREZ y ENRIQUEZ, 2015)

Por otra parte, la lignina presenta propiedades químicas como dispersante, adsorbente, aglomerante, emulsionante y estabilizador de emulsiones, propiedades no han sido ampliamente desarrolladas. Los principales grupos funcionales en la lignina incluyen hidroxilos fenólicos, hidroxilos alifáticos, metoxilos, carbonilos, carboxilos, sulfonatos y su estructura puede variar según el material vegetal de origen, por tanto es necesario identificar los grupos carboxilos y fenólicos en la molécula de lignina. Los principales componentes de la cáscara son: celulosa (25%), hemicelulosa (15%) y lignina (60%). La cáscara de plátano tiene una propiedad de adsorción. (RAMIREZ y ENRIQUEZ, 2015)

1.3.1.5.1. Regeneración del Carbón activado

La aplicación del carbón activado es viable económicamente, porque puede ser reutilizado implementado un proceso secundario. El carbón activo tiende a regenerarse por acción de la oxidación de la materia orgánica y su posterior eliminación de la superficie del carbón en un horno, donde se pierde entre 5 y un 10% del carbón, donde se requiere cambiarlo por un nuevo carbón activado. (BETANCUR, 2012)

1.3.1.5.2. Procesos de Activación

a. Proceso Físico

En este tipo de proceso, con la carbonización realizada se desarrolla la deshidratación y desvolatilización de la materia prima, obteniendo al final un producto carbonizado con alto contenido en carbono fijo y una primera estructura porosa. En este tipo de proceso se utiliza temperaturas de activación de 800° y 1200°C, usando principalmente al CO₂ y vapor de agua como agentes activantes. (BETANCUR, 2012)

b. Proceso Químico

Este proceso consiste en calentar el material precursor con el agente químico activante en una atmosfera aislada. Pueden usarse sustancias como: ácido fosfórico (H₃PO₄), sulfuros, cloruros de calcio, magnesio y de cinc (ZnCl₂), ácido sulfúrico (H₂SO₄), entre otros agentes.

Cuando se utiliza material precursor de origen vegetal; por ejemplo, cáscara de coco, coronta de maíz, etc.; se usa para la activación en la gran mayoría al ácido fosfórico (H₃PO₄). Se combina ambos para que se una buena impregnación, para que luego se seque y pase a ser pirolisada en una mufla a una temperatura que puede oscilar entre 350 y 700 °C. Lo que se da a continuación es la deshidratación del material y la formación de la matriz carbonosa con características muy porosas y con área superficial. (BETANCUR, 2012)

1.3.1.5.3. Factores que influyen en la adsorción de compuestos presentes en el aire

- ✓ El compuesto que se pretende eliminar. Preferible que sean compuestos con peso molecular alto, punto de ebullición alto, con un índice de refracción relativamente alto y presión de vapor bajo.

- ✓ El contaminante que se desea absorber debe estar en condiciones de presiones y concentraciones altas. Por el contrario, debe estar con temperatura baja y un mínimo de humedad. (BETANCUR, 2012)

1.3.1.5.4. Influencia de la porosidad en la adsorción en fase gas y líquida

La selección de un carbón activado para el empleo como materiales que eliminan gases de tipo apolar (como los hidrocarburos) o sustancias de tipo disueltas (como los fenoles) es caracterizando su superficie de contacto. Una superficie de contacto mayor implica una alta capacidad de adsorción del contaminante, y la manera de aumentarla es prolongando el nivel de activación (cuantificado a través del porcentaje de carbón que se pierde durante el proceso o porcentaje quemado). (RODRIGUEZ y MOLINA, 2008)

1.3.1.6. Propiedades de los monolitos de carbón y su relación con la adsorción

Las estructuras de los monolitos de carbón son elaboradas gracias al uso del aglomerante, la cual ayuda a la unión de las partículas de carbón activado, esto permitirá formar un material compactado que facilitara el uso. Al conformar el carbón activado en forma de monolitos se consigue tener una estructura altamente resistente que puede usarse eficientemente en la captura de gases. (INNOVA, 2018)

Los monolitos sólidos pueden ser utilizadas en distintas aplicaciones, como el almacenamiento de gas, esto permite disminuir los espacios entre partícula y optimizar la capacidad de adsorción del carbón activo.

En otras aplicaciones, los monolitos tienen que presentar algunas celdas finas y paralelas, por los cuales va a circular el gas. Los monolitos pueden ser utilizados para transporte y tratamiento de gases. Los monolitos de carbón activado cuentan con mayor capacidad adsorvativa, siendo tolerables a partículas y polvos. (INNOVA, 2018)

BETANCUR (2012) sostiene que las ventajas de la utilización de materiales monolíticos son que se pueden elaborar tamaños determinados y someter algunas características de ello como tamaño, microporosidad, volumen, propiedades mecánicas y área superficial.

1.4. Formulación del problema

¿Disminuye el CO, al usar un filtro de monolito de carbón, de las emisiones generadas por pollerías del centro histórico de Trujillo?

1.5. Justificación del estudio

Las pollerías son establecimientos que tienen una gran demanda de su servicio y por ello es una actividad económica muy rentable; sin embargo, esto se ve contrastado con el impacto ambiental que generan las emisiones de sus chimeneas catalogadas como un tema importante en la afectación de la calidad del aire. Por ello, ante la necesidad de buscar nuevas alternativas que contribuyan a reducir esta contaminación atmosférica, la presente investigación tiene su justificación en el aporte que brinda al proponer el uso de filtros de monolito de carbón para reducir las concentraciones de CO de las emisiones generadas por estos establecimientos, teniendo en cuenta que la materia empleada es de bajo costo, ya que se usa cáscara de plátano, pudiendo ser más atractivo para los dueños.

Si bien es cierto se han realizado trabajos previos sobre monolitos de carbón, todos estos trabajos han sido evaluados a nivel de laboratorio con condiciones controladas, las cuales son muy diferentes en la realidad; por ello también se pretende evaluar su capacidad adsorbativa directamente en chimeneas en funcionamiento de pollerías del centro histórico de Trujillo. Por último, la investigación puede dar lugar a nuevos estudios para elaborar filtros con diferentes características, referentes en la reducción de emisiones atmosféricas.

1.6. Hipótesis

El uso de un filtro de monolito de carbón disminuye la concentración de CO en las emisiones generadas por pollerías del centro histórico de Trujillo.

1.7. Objetivos

1.7.1. Objetivo General

Determinar la disminución de la concentración de CO al usar un filtro de monolito de carbón de las emisiones generadas por pollerías del Centro Histórico de Trujillo.

1.7.2. Objetivos Específicos

- Determinar la disminución de las concentraciones de CO en las emisiones generadas por pollerías del centro histórico de Trujillo al usar filtros de monolito de carbón activado obtenido a diferentes concentraciones de ácido fosfórico (40%, 60% y 80%) y a una presión de 300 psi.
- Determinar la disminución de las concentraciones de CO en las emisiones generadas por pollerías del centro histórico de Trujillo al usar filtros de monolito de carbón activado obtenido a diferentes concentraciones de ácido fosfórico (40%, 60% y 80%) y a una presión de 600 psi.
- Determinar el tamaño de poro promedio en los monolitos de carbón obtenidos a diferentes concentraciones de ácido fosfórico (40%, 60% y 80%) y presión de compactación (300 psi y 600 psi).

II. MÉTODO

2.1. Tipo de estudio

De acuerdo a su finalidad

Aplicativa

De acuerdo a su fuente

Laboratorio y campo

De acuerdo al enfoque

Cuantitativo

De acuerdo al diseño

Experimental

De acuerdo al alcance

Explicativa

2.2. Diseño experimental

La presente investigación tuvo un diseño bifactorial, porque se manipularon dos variables independientes: Concentración de ácido fosfórico (en 3 niveles de estudio) y presión de compactación (en 2 niveles de estudio). Al combinar ambos factores se obtuvieron: $3 \times 2 = 6$ experiencias evaluadas, con un número de repeticiones de 4, dando un total de $6 \times 4 = 24$ experimentos por unidad de análisis.

Tabla N° 1: Diseño de Investigación

N° DE REPETICIONES: 3	PRESIÓN DE COMPACTACIÓN (psi)		
	P ₁	P ₂	
	A ₁	A ₁ P ₁	A ₁ P ₂
CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO FOSFÓRICO (%)	A ₂	A ₂ P ₁	A ₂ P ₂
	A ₃	A ₃ P ₁	A ₃ P ₂

Fuente: Elaboración propia

Dónde:

A: Concentración porcentual de Ácido fosfórico

A1: Concentración de Ácido fosfórico al 40%

A2: Concentración de Ácido fosfórico al 60%

A3: Concentración de Ácido fosfórico al 80%

H: Presión de compactación

H1: Presión de compactación (300 psi)

H2: Presión de compactación (600 psi)

2.3. Variables

2.3.1. Variable independiente

- Concentración porcentual de Ácido fosfórico
- Presión de compactación

2.3.2. Variable dependiente

Disminución de la concentración de CO

2.3.3. Operacionalización de variables

Tabla N° 2: Operacionalización de variables

TIPO DE VARIABLE	VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
INDEPENDIENTE	Concentración porcentual de ácido fosfórico	El ácido fosfórico es utilizado en la activación química del carbón activado, generando diversos grados de activación.	Se prepararán soluciones de ácido fosfórico con concentraciones de 40%, 60% y 80%.	Porcentaje (%)	De razón
	Presión de compactación	La presión mecánica ejercida permite el conformado del monolito, favoreciendo la disminución del tamaño del poro de este mismo.	Los monolitos se serán sometidos a presiones de compactación de -300 psi y 600 psi mediante una prensa hidráulica.	Presión (psi)	De razón
DEPENDIENTE	Disminución de la concentración de CO	Es un compuesto gaseoso considerado un contaminante atmosférico, que se genera en la combustión incompleta por déficit de oxígeno. Perjudicial para la salud y el ambiente.	Se determinará mediante el equipo Analizador de Gases de Combustión (TESTO 340-S)	Unidad de partes por millón (ppm) Porcentaje (%)	De razón

2.4.Población y muestra

2.4.1. Población

La población en estudio fue de 16 pollerías establecidas en el centro histórico de Trujillo:

- Pollos el Rey de España (Av. España N° 2375 Primer piso, Urb. Chicago)
- Pollería el Pio Pio y Chifa (Av. España N° 155 Primer piso, Urb. San Andrés)
- Pollos Kikiriki (Av. España N° 2359)
- Pollería España (Av. España N° 2349 Primer piso y Mezanine, Urb. Chicago)
- Pollería Bolivar (Jr. Grau N° 646)
- Pollería Palermo´s (Av. España N° 2375 Primer piso, Urb. Chicago)
- Pollería Wilson Chicken (Av. España N° 2361, Urb. Chicago)
- Pollería Ke Likos SRL (Av. España N° 2351 Primer piso, Urb. Torres Araujo)
- Pollería Ricardos (Av. España N° 2149 Primer y segundo piso)
- Pollería Chifa Ke Likos (Av. España N° 2351, Urb. Chicago)
- Pollería Wilson II (Av. España N° 2361)
- Pollería Chicken Lee (Av. España N° 1537)
- Pollería D´KSAFE (Av. España N° 1621-1625)
- Pollería Diego´s (Av. España N° 1681)
- Pollería Rey´s (Av. España N° 1445)
- Pollería Happu Chicken (Av. España N° 2743, Urb. El Recreo)
- Pollería Amor al Sabor (Av. España N° 2755, Primer piso)

2.4.2. Muestra

La muestra constó de una pollería elegida por conveniencia, la cual fue seleccionada de acuerdo a la facilidad de acceso a las instalaciones. El establecimiento seleccionado para la evaluación está ubicada en el centro histórico de Trujillo, en el distrito de Trujillo, Provincia de Trujillo.

2.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

2.5.1. Técnicas e instrumentos

2.5.1.1.Técnica

La técnica que se empleó en la siguiente investigación fue la observación, debido a

que a través de una ficha de observación diseñada de acuerdo a la investigación y a los objetivos planteados, se recolectó los datos requeridos.

2.5.1.2. Instrumento

El instrumento es la ficha de observación que contuvo los aspectos que guían el comportamiento del presente estudio. (ANEXO 1)

2.5.2. Validez y confiabilidad

Para la validación del instrumento ficha de observación de la presente investigación, se solicitó la evaluación de 03 expertos. En la validez y confiabilidad de los datos a obtener se considera que los instrumentos, equipos y procedimientos a utilizar en este proyecto deben estar calibrados y validados.

Tabla N° 3: Calibración y validación del instrumento de medición

PROCEDIMIENTO	INSTRUMENTOS Y/O EQUIPO	CALIBRACIÓN	VALIDACIÓN
Medición de CO	Testo 340-S	Instrumento será calibrado por Instrumentslab	Norma Internacional de USEPA e-CFR EPA,1971 La empresa TESTO en el Perú avala al laboratorio en mención para la calibración de sus equipos.

2.6. Métodos de análisis de datos

El método que permitió afirmar si se presentan o no diferencias entre los resultados obtenidos, e incluso si hay inconsistencias, es el análisis de varianza (ANOVA), a ello se le complementará con la prueba Post Hoc TUKEY.

2.7. Metodología

2.7.1. Obtención del monolito de carbón

Para la obtención del carbón activo, se desarrolló el método utilizado por LÓPEZ (2017) en su investigación “Evaluación de las condiciones operacionales en el proceso de preparación de carbón activo de cáscara de naranja valencia”

El material de inicio que se usó es la cáscara de plátano. Para empezar, dependiendo de las condiciones del entorno, se deshidrató la cascara a 60 °C por 1 hora; luego de ello, se pasó a la mufla donde se incineró el material a 250 °C por un lapso de 2 horas; una vez llegado a tal temperatura se dejó alrededor de 40 minutos. Después, todo lo carbonizado pasó a triturarse tratando de llegar a un tamaño de partícula menor. Culminado ello, se procedió a activar lo obtenido con la adición de ácido fosfórico (H_3PO_4) a concentraciones de 40%, 60% y 80%, respectivamente, teniendo 1:2 como relación (por cada gramo de carbón 2 mL de ácido fosfórico), tratando que todo este homogenizado. Posterior a ello, las mezclas obtenidas de carbón ingresaron a una mufla para ser nuevamente incineradas a 450 °C, en esta ocasión se dejó aproximadamente por 3 horas. Se procedió después a eliminar de lo obtenido, los residuos del agente activante y a obtener un pH neutro en las muestras a través del lavado con agua destilada y la neutralización con hidróxido de sodio. Pasó a secarse el carbón activado por 2 horas a una temperatura de 60°C, para luego triturarlo, y finalmente tamizarlo en una malla de 250 μ m.

Para la conformación del monolito, se empleó la metodología propuesta por BETANCUR (2012) en su investigación denominada ‘‘Fabricación de monolitos de carbón activado para captura de gases contaminantes’’. Inicialmente, se usó como aglomerante al Polivinilalcohol (PVA) en un porcentaje de 10% respecto al peso del carbón; una vez adicionado el aglomerante, se procedió a calentar la mezcla de carbón activado con aglomerante en baño maría, aplicando una agitación de 1400 rpm, hasta que se logre evaporar toda el agua presente en la mezcla anteriormente mencionada. Una vez obtenida la mezcla seca se vació a los moldes para pasar al proceso de compactación, en donde con la ayuda de una prensa hidráulica, se llevó a cabo el prensado a dos diferentes presiones (300 psi y 600 psi) por alrededor de 20 minutos a temperatura ambiente y donde también se realizaron los canales paralelos en el monolito. Finalmente, ingresó a una mufla a una temperatura de 100 °C para evaporar el agua restante. Culminado ello, se envolvieron los monolitos y son guardados en cajas hasta su uso.

2.7.2. Determinación del tamaño de poro en los monolitos

La determinación el tamaño promedio de poro en los monolitos se realizó mediante Microscopía Óptica de barrido SEM. Esta prueba se realizó con el objetivo de ver

como el grado de activación según las concentraciones de ácido fosfórico y la presión de compactación ejercida determinan la estructura porosa de los monolitos de carbón y por ende su área superficial, responsables de la capacidad de adsorción que se estudia en la presente investigación.

2.7.3. Diseño y construcción del filtro

El diseño del filtro contuvo las siguientes características (ANEXOS 2 y 3):

- a) Monolito de carbón activado (4 unidades por filtro)
 - Material: monolito de carbón activado a base de cáscara de plátano
 - Medidas (1 monolito): 5 cm de alto, 13 cm de ancho, 13 cm de largo
 - Área de celda: 1 cm² (16 por monolito)
- b) Filtro (ANEXO 2 y 3)
 - Material: acero inoxidable
 - Medidas de la caja: 10 cm de alto, 29 cm de ancho, 29 cm de largo.
 - Malla metálica de 5 cm

2.7.4. Medición de las concentraciones de CO emitidas por las pollerías

Al inicio del monitoreo se tomaron las coordenadas UTM de los puntos con la ayuda de un GPS para una ubicación más exacta. Por otro lado, se revisó que el equipo de medición (TESTO 340-S) esté correctamente funcionando.

Para la determinación de puntos transversos del muestreo y la determinación de velocidad en fuentes estacionarias se utilizó el método establecido en la Norma Internacional de USEPA e-CFR Título 40, parte 60, Apéndice-1: Métodos 1, para medición de gases en fuentes fijas. (EPA, 1971) En la ubicación de los puntos de muestreo, se determinó el número de puntos transversales de muestreo para la medición de gases, para lo cual se hallaron las distancias A y B que son las distancias tomadas y medidas en la chimenea, estas distancias se hallaron mediante la división de estas con el diámetro general. Estos resultados de A y B son ubicados en un gráfico establecido internacionalmente por la EPA para la determinación de la cantidad de puntos de monitoreo en fuente fija. Después se determinó el número mínimo de puntos transversales, determinando la configuración de la matriz, se dividió la sección transversal de la chimenea en tantas áreas elementales rectangulares iguales como puntos transversales, y luego se ubicó el punto transversal en el centroide de cada área. Se consideró la ubicación de los niples de

muestreo para chimeneas rectangulares, las cuales deben ser establecidas en lado más corto de la chimenea. (ANEXOS 2 y 3)

Para el monitoreo de emisiones en la chimenea se utilizó el equipo denominado TESTO, el cual cuenta con un sensor que se colocó en la salida de gas cuyos valores y composición desean medirse. Bajo cualquier circunstancia debe evitarse que el sensor toque las paredes del conducto de salida de gas pues las altas temperaturas pueden dañarlo e incluso fundirlo. (ANEXO 4)

III. RESULTADOS

Generación del carbón activado a base de cáscara de plátano

Tabla N° 4: Generación del carbón activado a base de cáscara de plátano

Materia prima	Cantidad de materia prima inicial (Kg)	Cantidad de carbón activado obtenido (Kg)	Tamaño de partícula (µm)
Cáscara de plátano	4.8	0.95	250

A continuación se identifican los monolitos de carbón usados en el filtro para emisiones bajo la denominación de MCP por ser un Monolito de Carbón a base de cáscara de Plátano, seguido del porcentaje de ácido fosfórico utilizado en su activación (40%, 60% Y 80%) y finalmente separado por un guion la presión de compactación empleada (300 psi y 600 psi).

Disminución de la concentración CO tras aplicación de los filtros

Tabla N° 5: Evaluación general de los parámetros de las emisiones gaseosas en la chimenea de la pollería evaluada

PARAMETRO	MUESTREO		
	1	2	3
Temperatura (°C)	51.6	56.7	69.3
CO (ppm)	755.3	851	1068.75
NO (ppm)	3	2	2
NOx (ppm)	3	2	2
SO ₂ (ppm)	0	0	0

En la tabla N° 5, se observa que de los días evaluados, el muestreo 3 que corresponde al fin de semana presentó valores más altos de concentraciones de CO de hasta 1068.75 ppm; mientras que los valores más bajos se reportan en el muestreo 1 y 2 medidos entre semana. Por otro lado, se observa bajas concentraciones de NO y NOx y nula presencia de SO₂; esto se debe al aumento del consumo de pollo por la mayor confluencia de personas que acuden al establecimiento los fines de semana.

Tabla N° 6: Disminución de la concentración de CO tras el uso de los filtros de monolito de carbón, a diferentes concentraciones de ácido fosfórico y presión de compactación, en la chimenea de la pollería evaluada.

N° REP	MONOLITO DE CARBON			PROMEDIOS (ppm CO)		DISMINUCIÓN (%)
	CODIGO	PRESION DE COMPACTACIÓN (PSI)	CONCENTRACIÓN DE H ₂ PO ₄ (%)	PRETRATAMIENTO	POSTRATAMIENTO	
4	MCP40-300	300	40	871.15	726.88	16.56
4	MCP60-300		60	1048.98	887.33	15.41
4	MCP80-300		80	1129.19	962.73	14.74
4	MCP40-600	600	40	985.75	799.53	18.89
4	MCP60-600		60	877.50	623.67	28.93
4	MCP80-600		80	1113.98	963.43	13.51

En la tabla N°6, se observa que entre los filtros de monolitos evaluados a una presión constante de 300 psi y tres concentraciones porcentuales de ácido fosfórico (40%, 60% y 80%), el que presenta mayor porcentaje de remoción de CO es el filtro MCP40-300, con un 16.56%; mientras que MCP80-300 presenta el menor porcentaje con un 14.74% de remoción de CO. Así mismo, se observa que con una presión de compactación de 600 psi, el que presenta mayor porcentaje de remoción es el MCP60-600, con un 28.93%; mientras que el más bajo es el MCP80-600 que presenta un 13.51% de remoción de este mismo contaminante.

Determinación del tamaño de poro promedio de los monolitos de carbón

Tabla N° 7: Evaluación del tamaño de poro promedio de los monolitos de carbón evaluados.

MONOLITO DE CARBÓN	POROSIDAD		
	TAMAÑO PROMEDIO (nm)	TIPO (Micro, meso y macro poro)	OBSERVACIONES
MCP40-300	37.5	Mesoporo	-
MCP60-300	40.6	Mesoporo	-
MCP80-300	22.2	Mesoporo	-
MCP40-600	26.4	Mesoporo	-
MCP60-600	35.0	Mesoporo	-
MCP80-600	71.4	Macroporo	Obstrucción

En la tabla N° 7, se observan los tamaños de poro promedio que presenta cada monolito de carbón activado, siendo el monolito MCP80-600 el único que tiene una macroporosidad en su estructura (mayor a 50 nm de tamaño de poro); mientras los demás monolitos presentan una mesoporosidad en su estructura (entre 2 nm y 50 nm de tamaño de poro).

Evaluación del funcionamiento de los filtros respecto al tiempo

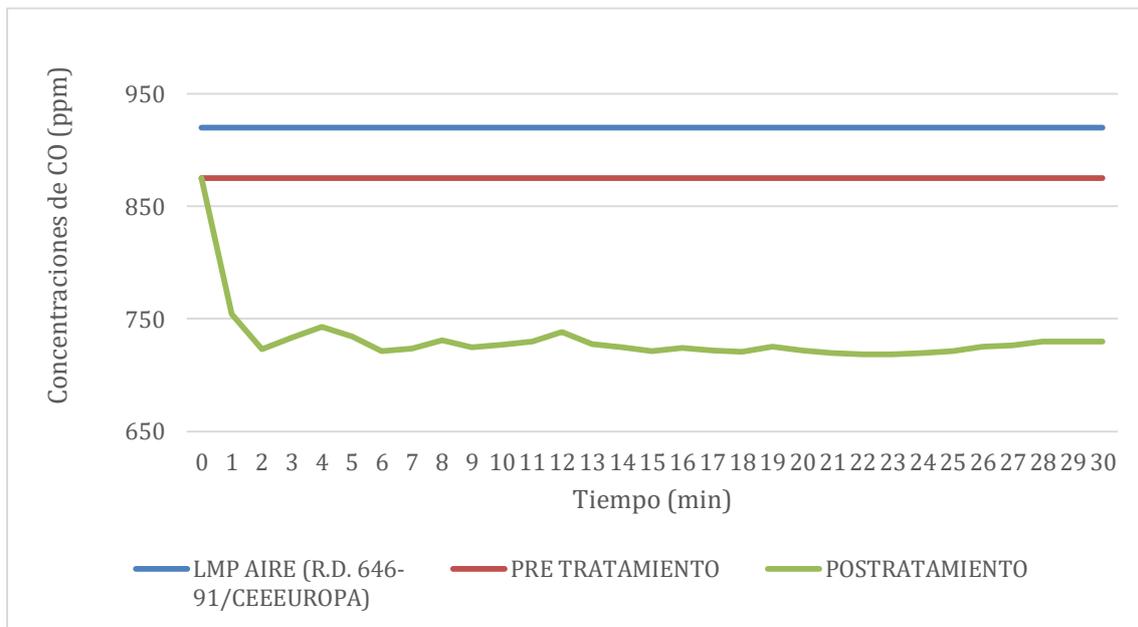


Figura N° 1.- Variación de la concentración de CO respecto al tiempo, en la pollería evaluada, al aplicar el filtro MCP40-300.

Cuando se colocó el filtro de monolito de carbón activado al 40% de ácido fosfórico y comprimido a 300 psi, se observó que es en el minuto dos donde empieza a disminuir las concentraciones de CO, a partir de ahí las concentraciones se mantienen oscilando entre 650 y 750 ppm, por debajo del promedio de la concentración inicial de CO y del Límite Máximo Permisible para aire dado por R.D. 646-91/CEEEUROPA para actividades con emisiones de combustión.

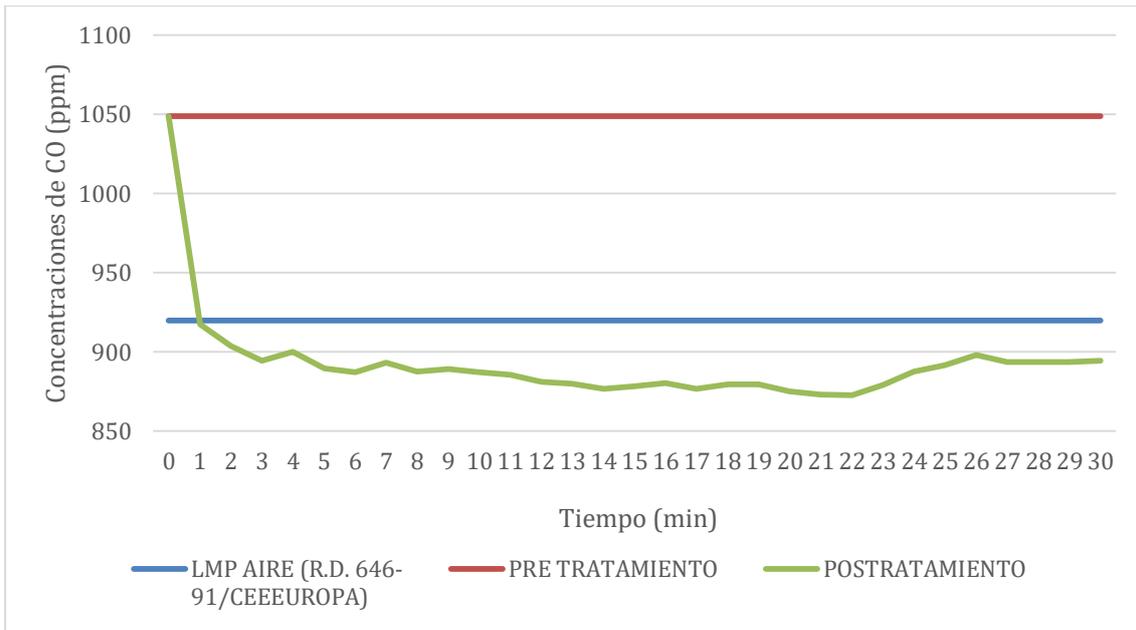


Figura N° 2.- Variación de la concentración de CO respecto al tiempo, en la pollería evaluada, al aplicar el filtro MCP60-300.

En la figura N° 2, se observó que colocado el filtro, en el lapso de tiempo evaluado las concentraciones de CO disminuyeron de 1050 ppm a valores que oscilan entre 850 y 900 ppm; observándose variaciones no muy notorias. Así mismo, estas concentraciones cumplen con el LMP para aire dado por el R.D. 646-91/CEEEUROPA; sin embargo, los valores están muy cercanos al valor permisible.

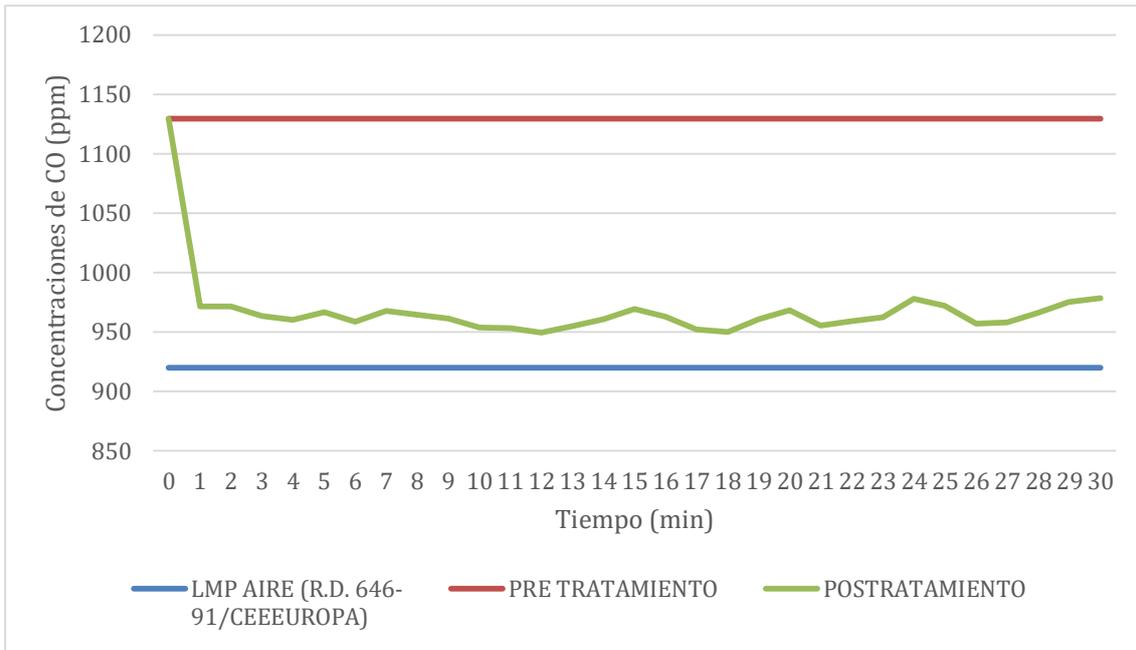


Figura N° 3.- Variación de la concentración de CO respecto al tiempo, en la pollería evaluada, al aplicar el filtro MCP80-300.

Cuando se utilizó el filtro de monolito de carbón activado al 80% de ácido fosfórico y comprimido a 300 psi, se observó en el tiempo evaluado que las concentraciones finales de CO oscilaban entre 950 y 1000 ppm; observándose además que a partir del minuto 27 las concentraciones empiezan a aumentar nuevamente. Así mismo, se observa que lo reportado no cumple con el LMP para aire dado por el R.D. 646-91/CEEEUROPA, ya que los valores están por encima del valor permisible.

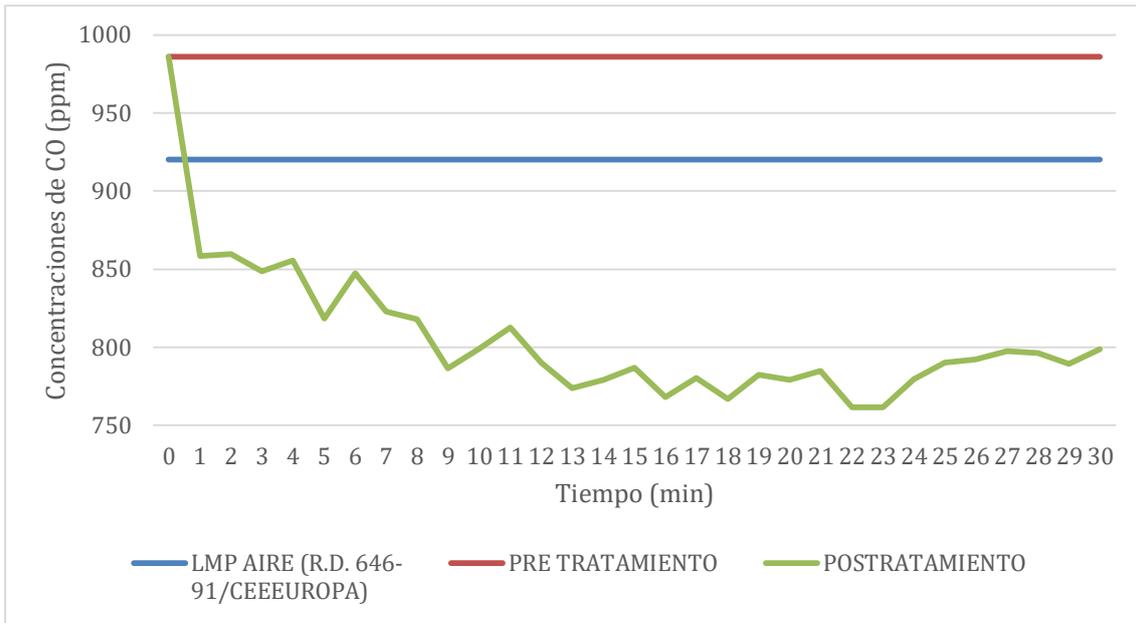


Figura N° 4.- Variación de la concentración de CO respecto al tiempo, en la pollería evaluada, al aplicar el filtro MCP40-600.

En la figura N°4, se observa desde el minuto 4 que empieza a bajar las concentraciones de 1000 ppm de CO a valores medidos entre 750 ppm y 870 ppm; siendo en los minutos 22 y 23 donde se observa los valores más bajos de concentraciones de CO; a partir del ese punto empieza a aumentar nuevamente las concentraciones hasta el minuto 30. Así mismo, los valores reportados están por debajo del LMP para aire dado por R.D. 646-91/CEEUEUROPA para actividades con emisiones de combustión.

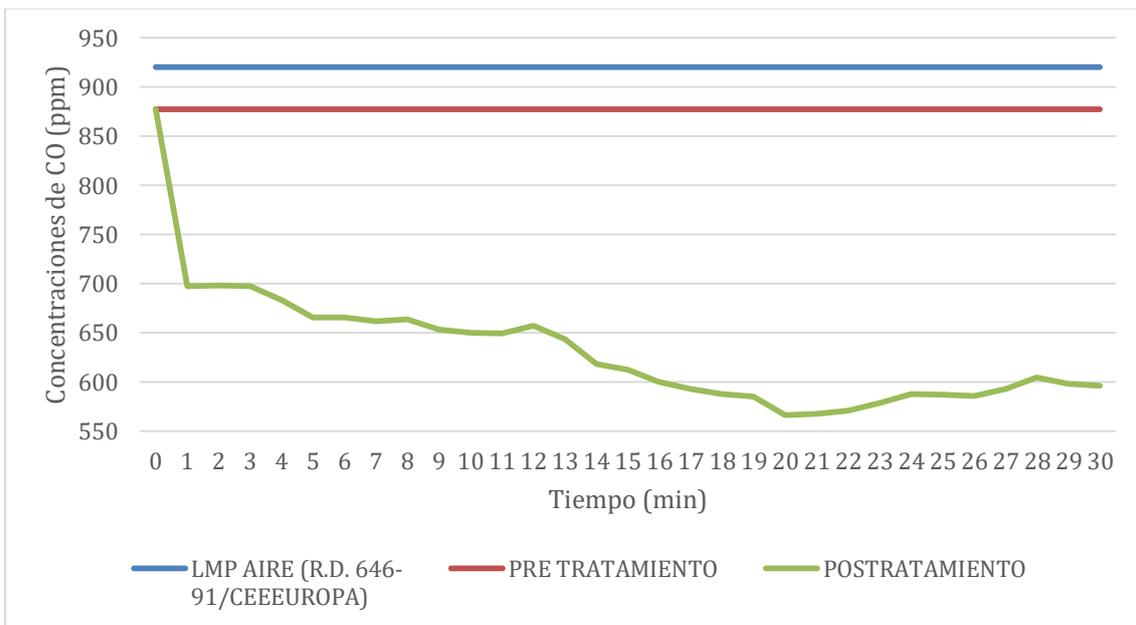


Figura N° 5.- Variación de la concentración de CO respecto al tiempo, en la pollería evaluada, al aplicar el filtro MCP60-600.

En la figura N° 5, cuando se colocó el filtro de monolito de carbón activado al 60% de ácido fosfórico y comprimido a 600 psi, se observó que desde el minuto 3 las concentraciones de CO empiezan a disminuir hasta valores por debajo de los 600 ppm, siendo en el minuto 20 donde se reporta el valor más bajo de CO. Así mismo, los valores reportados están por muy debajo del LMP para aire dado por R.D. 646-91/CEEEUROPA.

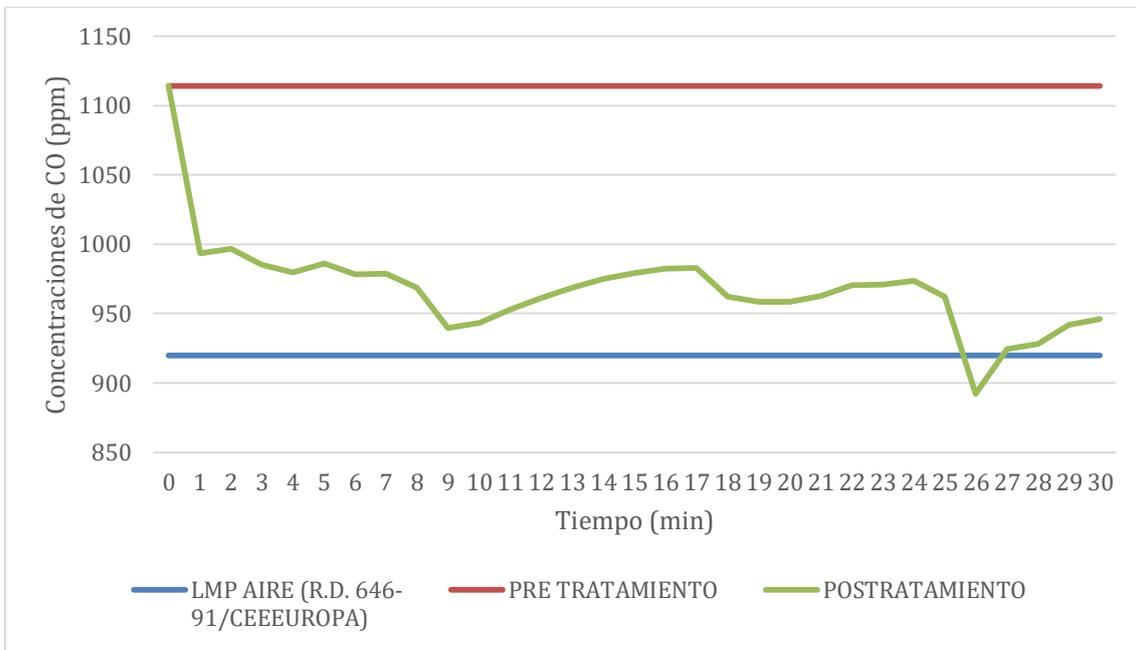


Figura N° 6.- Variación de la concentración de CO respecto al tiempo, en la pollería evaluada, al aplicar el filtro MCP80-600.

En la figura N° 6, cuando se colocó el filtro de monolito de carbón activado al 80% de ácido fosfórico y comprimido a 600 psi, se observó que en el intervalo de tiempo medido de 30 minutos, las concentraciones de CO disminuyeron en menor cantidad, ya que los valores oscilaron entre 900 y 1000 ppm, muy cercanos a la concentración de CO sin filtro. Así mismo, los valores reportados no cumplen con el LMP para aire dado por R.D. 646-91/CEEEUROPA para actividades con emisiones de combustión.

Análisis estadístico

Se realizó el análisis estadístico de los valores obtenidos en la investigación, empezando por las pruebas de normalidad. Para ello se empleó el estadístico Shapiro-Wilk a un 95% de confianza, con lo cual se comprobó que los resultados obtenidos de disminución de CO mediante el filtro de monolito de carbón en emisiones generadas por pollerías,

tanto con el factor presión de compactación (ANEXO 10, Tabla 9) como con el factor concentración de ácido fosfórico (ANEXO 10, Tabla 10) presentan un valor $p > 0.05$ y por lo tanto si cumple con el supuesto de normalidad o distribución normal.

Posterior a ello, se procedió a realizar la prueba de homogeneidad de varianzas (Leave), en donde de igual modo se obtuvo un valor $p > 0.05$ con lo cual se acepta que los resultados obtenidos de disminución de CO mediante el filtro de monolito de carbón en emisiones generadas por pollerías y evaluando ambos factores, son homogéneos (ANEXO 10, Tabla 11)

Una vez que se comprobó que los resultados cumplen con los supuestos de normalidad y homogeneidad, se realizó la prueba ANOVA. En esta prueba se determinó que si existen diferencias significativas entre los resultados obtenidos por los dos factores evaluados (presión de compactación y concentración de ácido fosfórico) en los filtros de monolito de carbón para la disminución de CO en emisiones generadas por pollerías, debido a que se obtuvo un valor $p < 0.05$.

Finalmente se realizó la prueba Post Hoc, pero solo para el factor concentración de ácido fosfórico en sus tres niveles. Para la presión de compactación no se pudo realizar debido a que la prueba TUKEY se emplea con factores que tengan mínimo tres niveles y en nuestro caso solo tenía dos (300 y 600 psi). Para el caso de las tres concentración de ácido fosfórico evaluados en el filtro de monolito de carbón sobre la disminución de CO se observa (ANEXO 10, Tabla 13) que la concentración de ácido fosfórico a 40% y 60% comparten el mismo subconjunto (sub conjunto 1), por lo que sus resultados de disminución de CO en emisiones de pollerías difieren en menor proporción entre sí a comparación de los valores de disminución de CO dados con una concentración de 80%.

IV. DISCUSIÓN

En la tabla N° 5 se puede observar la evaluación inicial de las emisiones gaseosas que produce la pollería durante su funcionamiento, donde se evidencia la mayor concentración de CO en la tercera evaluación (fin de semana), esto puede deberse a la mayor producción de pollos a la brasa debido al aumento de la concurrencia de la clientela. Esta situación hace que se requiriera la utilización de más carbón vegetal y por ende se produce más combustión. Por otro lado el continuo abastecimiento de sus hornos con la materia prima (carbón vegetal) para hacer funcionar y cocinarlos pollos, conlleva a la relación de una alza de temperatura por lo cual se incrementan las concentraciones de CO, este proceso de combustión en los hornos se incrementan mayormente los finales de semana puesto que estos funcionan desde el mediodía hasta altas horas de la noche, existiendo unas temperaturas más elevadas en su interior a diferencia de los días de semana que su temperatura es más baja y presentan CO en menores cantidades. Así mismo, se observa que las emisiones de CO medidos oscilan entre 756 y 1068.75 ppm, siendo valores muy altos comparados con otros parámetros como NO, NOx y SO₂; esto concuerda con lo reportado por DIGESA (2005) en su Inventario de Emisiones de Fuentes Fijas de la Cuenca Atmosférica de la ciudad de Trujillo, donde de los parámetros evaluados (PTS, PM-10, SO₂, NOX, CO, COV y Pb), es el monóxido de carbono el contaminante que más se emite por pollerías en la ciudad de Trujillo, llegando hasta valores de 159 ton/año. Sin embargo, difiere de los valores dados por IPARRAGUIRRE (2016) en su investigación, debido a que las concentraciones de CO evaluadas en las chimeneas de las pollerías Rocky's, Norky's y Bolivar oscilan entre 16.2 y 17.2 ppm; esto se debe tanto al proceso e instrumentos utilizados en la medición de las emisiones como al proceso de producción que tengan estas pollerías.

En la tabla N° 6, se observa que de los primeros tres tratamientos aplicados (filtro de monolito de carbón) a diferentes concentraciones porcentuales de ácido fosfórico y a una presión de compactación constante de 300 psi, el filtro MCP40-300 es el que presenta una mayor disminución de la concentración de CO en las emisiones de la pollería, respecto a los otros dos filtros evaluados a una misma presión, con un 16.56%; seguido de ello se encuentra el filtro MCP60-300 que disminuyo las concentraciones de CO iniciales en un 15.41%. Con respecto a los otros tres tratamientos a diferentes concentraciones porcentuales de ácido fosfórico y a una presión de compactación de

600 psi, es el filtro MCP60-600 el que presenta una mayor disminución de la concentración de CO, con un 28.93%; a ello le sigue el filtro MCP40-600 con un 18.89% de disminución. VARGAS et al. (2011) obtuvo mejores resultados de área específica, volumen poroso y por ende mayor capacidad de adsorción con sus monolitos de carbón a base de cuesco de palma al activarlo con un 48% de ácido fosfórico, considerando que son óptimos los valores que oscilen cercanos a esta concentración. Los resultados obtenidos concuerdan con lo mencionado por el autor ya que las concentraciones utilizadas de 40% y 60% de ácido fosfórico, son cercanos a lo encontrado óptimo por la autora (48%). De igual forma, en la prueba Post Hoc – Tukey (ANEXO 10, Tabla 13) se comprueba estadísticamente que la concentración de ácido fosfórico a 40% y 60% comparten el mismo subconjunto (sub conjunto 1), por lo que sus valores de disminución de CO son más eficientes y difieren en menor proporción a comparación de los valores de disminución de CO dados con una concentración de 80%.

Por otro lado, en la misma tabla, se observa que los monolitos de carbón activados con una concentración de ácido fosfórico al 80% presentaron los valores más bajos de todos los tratamientos aplicados, reportando el filtro MCP80-300 un 14.82% de disminución de concentración de CO y el filtro MCP80-600 un 13.51% de disminución. VARGAS et al. (2011) sustenta que trabajar con concentración de ácido fosfórico altas ocasiona que se dé una disminución del área superficial de los monolitos, esto se debe a dos razones, primero a que si no se realiza una correcta eliminación del agente activante durante el lavado del carbón, los metafosfatos que quedan como residuos tienden a obstruir la matriz carbonosa responsable de la adsorción, disminuyendo así su capacidad; pero también menciona que puede deberse a un mayor desprendimiento del material volátil del monolito, ocasionando por el constante lavado que realiza al carbón.

Respecto a la presión de compactación, de los seis filtros evaluados, los filtros MCP40-600 y MCP60-600 fueron los que lograron la mayor disminución de la concentración de CO, ambos comprimidos a 600 psi; esto concuerda con los resultados de LÓPEZ *et al.* (2011) quien trabajó la conformación de sus monolitos con presiones de 500, 1000 y 2000 psi, obteniendo mayor capacidad de absorción a 500 psi, valor cercano al evaluado (600 psi). El investigador atribuye la capacidad de absorción a la porosidad que obtuvo con estos monolitos, mencionando que a 1000 y 2000 no obtuvo buenos resultados ya

que al emplear elevadas presiones de compactación, la capacidad de adsorción de estos monolito baja debido a que los espacios entre las partículas del carbón activado se tiendan a reducir a tal punto que no permiten el fluido normal del contaminante; así mismo, el correcto prensado ayuda a reducir la pérdida del material volátil, haciendo resistente al monolito de carbón.. Esta información también es acorde con lo reportado por BETANCUR (2012) quien en su investigación obtuvo los mejores resultados en cuanto a capacidad de adsorción de CO₂ con monolitos de carbón al aplicar una presión de compactación evaluada de 10 bares, atribuyendo que este factor influye significativamente sobre el área superficial de los materiales carbonosos. La aplicación de una presión de 600 psi en los monolitos activados al 80% de ácido fosfórico pudo contribuir a cerrar los pocos espacios activos del monolito, generando el menor porcentaje de disminución de CO reportado.

Con respecto al proceso de adsorción, ALVAREZ (2016) menciona que la porosidad es importante, en especial la microporosidad ya que contribuiría a una mayor capacidad de adsorción; sin embargo la formación de mesoporos es relevante debido a que permiten ser canales de transporte de las moléculas del contaminante a las paredes internas del carbón. Como se puede observar, en la tabla N° 7, todos los monolitos de carbón evaluados, a excepción del MCP80-600, presentan porosidad de tipo mesoporo, por lo que sería buen indicativo de adsorción. También menciona que si no existe una modificación en la química superficial del adsorbente, se podría presentar una adsorción de tipo física en la cual intervienen unas fuerzas de interacción débiles, que ocasionarían que las moléculas de gas adsorbidas se liberen de la superficie del sólido con facilidad; ello podría ser una de las causas de la obtención de bajos porcentajes de disminución de CO.

Adicionalmente, se realizó una evaluación de la variabilidad de las concentraciones de CO (ppm) en las emisiones de la pollería al aplicar los filtros de monolito de carbón durante 30 minutos continuos (Figuras 1-6), en donde todos los filtros evaluados evidencian un buen funcionamiento ya que los valores que reportan cada minuto se mantienen por debajo de las concentraciones iniciales de CO. LÓPEZ et al. (2011) también evaluó la adsorción con respecto al tiempo, en este caso de NO, con cada uno de sus monolitos obteniendo que todos muestran un comportamiento que pasa por tres etapas de adsorción. Primero, se da la distribución y la adsorción del contaminante en las zonas activos de la superficie interna del monolito de carbón; segundo, por el minuto

20 se da la mayor adsorción para luego empezar a bajar, en esta parte la adsorción se da en las zonas activas de la superficie externa de los monolitos y se termina de llenar los poros y, tercero, la concentración final empieza a darse de manera constante indicando un proceso de saturación.

Los filtros MCP40-300 (Figura 1), MCP60-300 (Figura 2), MCP40-600 (Figura 4) y MCP60-600 (Figura 5) reportan valores que serían aceptables, principalmente este último debido a que cumplen con el Límite Máximo Permisible para aire con respecto al parámetro Monóxido de Carbono (CO) dado por R.D. 646-91/CEEEUROPA para actividades con emisiones de combustión, que es de una referencia de 920 ppm de CO (1000 mg/m³ sin conversión). Sin embargo, pasaría todo lo contrario con los filtros MCP80-300 (Figura 3) y MCP80-600 (Figura 6) debido a que si bien logran disminuir de manera mínima la concentración de CO (ppm) de las emisiones inicialmente medidas, no llegan a cumplir con el Límite Máximo Permisible antes citado. En el Perú no se cuenta con normativa que regule LMP para este tipo de actividad o sector y menos para el parámetro medido, por esa razón se comparó con normativa internacional. La R.D. 646-91/CEEEUROPA es un LMP dado para las actividades que generan combustión y usan un tipo de combustible sólido, líquido o gaseoso. CASADO (2010) en su propuesta de LMP para la industria ladrillera en el Perú, hace referencia a la normativa Europea antes citada y menciona que son pocos los países que regulan el CO, aun cuando se sabe que es un contaminante que afecta la salud de la población y el medio ambiente. Así mismo, menciona que los valores que emiten las chimeneas pueden ir desde 77 hasta 8000 mg/m³, esto dependería de las deficiencias operativas que se dan durante la producción, considerando que buenas prácticas lograrían reducir los valores de CO emitidos por chimeneas.

V. CONCLUSIONES

- Al evaluar la disminución de las concentraciones de CO en las emisiones generadas por pollerías al usar filtros de monolito de carbón activado obtenido a diferentes concentraciones de ácido fosfórico (40%, 60% y 80%) y a una presión de compactación de 300 psi; se concluye que es el filtro MCP40-300 el que obtuvo una mejor disminución de CO con un 16.56%, reduciendo de una concentración inicial de 871.15 ppm a 726.88 ppm de este contaminante.
- Al evaluar las concentraciones de CO en las emisiones generadas por pollerías del centro histórico de Trujillo al usar filtros de monolito de carbón activado obtenido a diferentes concentraciones de ácido fosfórico (40%, 60% y 80%) y a una presión de 600 psi; se concluye que es el filtro MCP60-600 el que obtuvo una mejor disminución de CO con un 28.93%, reduciendo de una concentración inicial de 877.50 ppm a 623.67 ppm de este contaminante. De igual forma este sería el filtro de monolito de carbón con mejor disminución de CO, de los 6 filtros antes evaluados.
- Se concluye que los monolitos de carbón caracterizados como MCP40-300, MCP60-300, MCP80-300, MCP40-600 y MCP60-600 presentan un tamaño de poro de tipo mesoporoso; lo cual contribuye a generar un medio de transporte del contaminante hacia superficies de contacto internas del carbón que favorece la adsorción; solo el MCP80-600 presento uno de tipo macroporoso. Así mismo, el no identificar predominancia de microporosidad pudo ser la causa de no obtener altos valores de disminución de CO en la investigación.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda evaluar otros factores como la impregnación con algún metal noble o con grupos nitrogenados para aumentar su capacidad de adsorción y afinidad con el contaminante.
- Considerar evaluar la adsorción de otros gases contaminantes en monolitos colocados en forma de serie.
- Considerar otros tipos de materia prima para la elaboración del carbón activado en la elaboración de los monolitos.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ, Miguel y CARRASCO, Francisco. Aplicaciones de adsorbentes y catalizadores en procesos medioambientales y energéticos. [en línea] Sevilla: Universidad Internacional de Andalucía, 2016. [Fecha de consulta 11 de Noviembre del 2018] Disponible en:
dspace.unia.es/bitstream/handle/10334/3626/2016_978-84-7993-309-8.pdf
- BETANCUR, Adrián. Fabricación de monolitos de carbón activado para captura de gases contaminantes. Tesis de Magister en Ingeniería Química. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2012. Disponible en:
<https://www.researchgate.net/profile/Adrian-Betancur-Arroyave/publication/304715344-Fabricacion-de-monolitos-de-carbon-activado-para-captura-de-gases-contaminantes/links/5777d56508aeb9427e2a1ae8/Fabricacion-de-monolitos-de-carbon-activado-para-captura-de-gases-contaminantes.pdf>
- CASADO, Manuel. Elaboración de Límites Máximos Permisibles de emisiones para la industria ladrillera. [en línea] Red Ladrilleras, 2010. [Fecha de consulta: 10 de Setiembre del 2018]. Disponible en:
<http://www.redladrilleras.net/assets/files/a8832ab5c8e44f4b8bb1d3250fdf2d45.pdf>
- DIGESA. Inventario de Emisiones de Fuentes Fijas de la Cuenca Atmosférica de la ciudad de Trujillo, 2005 [en línea]. Trujillo: Dirección Gerencia de salud, 2005. [Fecha de consulta: 20 de Abril del 2018]. Disponible en:
<file:///C:/Users/Usuario/Downloads/154.pdf>
- EPA (USA). Norma Internacional de USEPA, método 1 - medición de gases en fuentes fijas. Luisiana: INN, 1971. Disponible en:
<http://www.ingenieroambiental.com/4014/determinacion.pdf>
- GALLEGO, Eva et al. Calidad de aire interior: filtros de carbón activado para se mejora. [en línea] Instituto Nacional de Higiene y Salud en el Trabajo, 2013.

- [Fecha de consulta: 16 de Abril del 2018]. Disponible en:
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/24934/989%20w.pdf>
- GIRALDO, Liliana y MORENO, Juan. Adsorción de CO₂ en carbón activado con diferente grado de activación. *Afinidad* [en línea] 2010, Vol 65, n° 548. [Fecha de consulta: 17 de Abril del 2018] Disponible en:
<https://www.raco.cat/index.php/afinidad/article/view/269277>
 - INNOVA. Desarrollo de nuevos adsorbentes y catalizadores basados en carbón activo [en línea]. Alicante: Universidad de Alicante. [Fecha de consulta: 15 de Abril del 2018]. Disponible en:
<http://innoua.ua.es/Web/GeneraFichaOfertaPDF?pIdOferta=17&language=es>
 - IPARRAGUIRRE, Arquímedes. Formulación de propuestas de lavado de gases de combustión en las emisiones de las chimeneas de pollerías de la ciudad de Trujillo, Perú. Tesis de Maestría en Gestión de Riesgos Ambientales y Seguridad en las Empresas. Universidad Nacional de Trujillo, 2016. Disponible en:
<http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/7847/Tesis%20Maestr%C3%ADaX%20-%20Arqu%C3%ADmedes%20Iparraquirre%20Lozano.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
 - LAVADO *et al.* Adsorción de plomo de efluentes industriales usando carbones activados con H₃PO₄. *Revista de la Sociedad Química del Perú*. [en línea] 2010, Vol 76, n° 2. [Fecha de consulta: 19 de Abril del 2018] ISSN 1810-634X. Disponible en:
http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2010000200007

- LÓPEZ, Danilo. Evaluación de las condiciones operacionales en el proceso de preparación de carbón activo de cáscara de naranja valencia (*Citrus Sinensis Linn Osbeck*), laboratorios de química UNAN-Managua, II semestre 2016. Tesis en Licenciado en Química Industrial. Managua: UNAN, 2017. 49-50 p. Disponible en: <http://repositorio.unan.edu.ni/4275/1/96798.pdf>

- LÓPEZ *et al.* Adsorción catalítica de NO a baja temperatura sobre monolitos de carbón activado. *Revista Facultad de Ingeniería*. [en línea] 2011, Vol 1, n° 57. [Fecha de consulta: 19 de Abril del 2018] ISSN 0120-6230. Disponible en: <http://aprendeenlinea.udea.edu.co/revistas/index.php/ingenieria/article/view/14646/12802>

- NAVARRETE, Diana et al. Elaboración de carbón activado a partir de materiales no convencionales, para ser usado como medio filtrante. Tesis de Ingeniero Civil. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2014. 47-49, 104-106 p. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/29845/D-70080.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- PROGRAMA REGIONAL AIRE LIMPIO. Guía de buenas prácticas ambientales para la producción de pollos a la brasa. [en línea]. Arequipa: CONSUDE, MINAM, Swisscontact y Calandria, 2005. Disponible en: https://www.swisscontact.org/fileadmin/user_upload/COUNTRIES/Peru/Documents/Publications/guia_de_buenas_practicas_ambientales_para_la_produccion_de_pollos_a_la_brasa.pdf

- RAMIREZ, José y ENRIQUEZ, Maryeni. Remoción de plomo (II) usando lignina obtenida a partir del procesamiento del seudotallo de plátano [en línea] Colombia: UNAL [Fecha de consulta 20 de diciembre de 2018] Disponible en: https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/43488

- REGISTRO ESTATAL DE EMISIONES Y FUENTES CONTAMINANTES. Monóxido de Carbono (CO) [en línea] España: PRTR. [Fecha de consulta 09 de mayo de 2018] Disponible en:
<http://www.prtr-es.es/Monoxido-carbono-775112007.html>

- RODRIGUEZ, Francisco y MOLINA, Miguel. Influencia de la porosidad en la adsorción en fase gas y líquida. [en línea] Alicante: Universidad de Alicante, 2008. [Fecha de consulta 10 de mayo de 2018] Disponible en:
<https://www.estrucplan.com.ar/Producciones/imprimir.asp?IdEntrega=791>

- SILVESTRE, Joaquín y RODRIGUEZ, Francisco. Nuevos materiales de carbón para la captura de CO₂. *Boletín del Grupo Español del Carbón*. [en línea] 2012, n° 24. [Fecha de consulta 08 de mayo de 2018] ISSN-e 2172-6094. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3954642>

- TELLEZ, Jairo et al. Contaminación por Monóxido de Carbono: un Problema de Salud Ambiental. [en línea] Bogota: Universidad Nacional de Colombia, 2006. [Fecha de consulta 10 de mayo de 2018] Disponible en:
https://www.scielo.org/scielo.php?pid=S0124-00642006000100010&script=sci_arttext&tlng

- VARGAS et al. Síntesis de Monolitos de Carbón activado: análisis comparativo entre las características texturales y energéticas determinadas mediante calorimetría de inmersión. [en línea] Bogota: Universidad Nacional de Colombia, 2006. [Fecha de consulta 11 de mayo de 2018] Disponible en:
www.raco.cat/index.php/afinidad/article/viewFile/268094/355675

- WAHBY, Anass. Monolitos de carbón activado, obtenidos a partir de brea de mesofase. *Grupo Especializado de Adsorción de la RSEQ*. [en línea] 2011, Vol 1, n° 2. [Fecha de consulta: 17 de Abril del 2018] ISSN 2173-0253. Disponible en: <http://digital.csic.es/handle/10261/74141>

ANEXOS

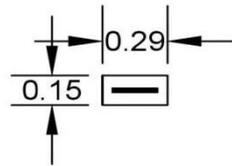
ANEXO 1: Ficha de Observación

FICHA DE OBSERVACIÓN: MEDICIONES DE CONCENTRACIONES DE CO																
Investigación																
Especialista asesor		Lugar														
Equipos y/o instrumentos		Fecha														
Filtro de monolito de carbón																
Características del monolito de carbón						Características del filtro										
Materia prima		Tipo de material														
Granulometría		Alto (cm)														
Porcentaje de H3PO4		Largo (cm)														
Resión de compactación		Ancho (cm)														
Porosidad		Peso (Kg)														
Alto (cm)		Extractor de aire														
Largo (cm)																
Ancho (cm)																
Área de celda																
Mediciones de las concentraciones de CO emitidas por la chimenea de la pollería																
R	Código	Puntos de monitoreo										Promedios				
		P1 (ug/m3)	P2 (ug/m3)	P3 (ug/m3)	P4 (ug/m3)	P5 (ug/m3)	P6 (ug/m3)	P7 (ug/m3)	P8 (ug/m3)	P9 (ug/m3)	P10 (ug/m3)	P11 (ug/m3)	P12 (ug/m3)	PCO (ug/m3)	% Dco	
1	T0 MCP40-300															
2	T0 MCP40-300															
3	T0 MCP40-300															
Evaluación de disminución de CO																
												Promedio de concentración de CO (Pre filtro)				
												Promedio de concentración de CO (Pos filtro)				

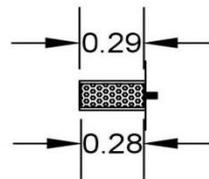
*MCP40-300: Manalite de carbón activada a base de cáscara de plátano, con 40% de H3PO4 y 3000 pri de compactación.

ANEXO 2: Medidas del filtro de monolito de carbón

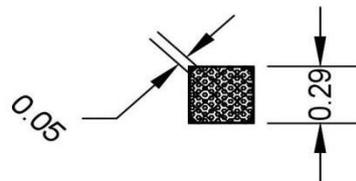
VISTA ALZADA



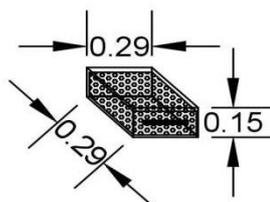
VISTA PERFIL



VISTA PLANTA



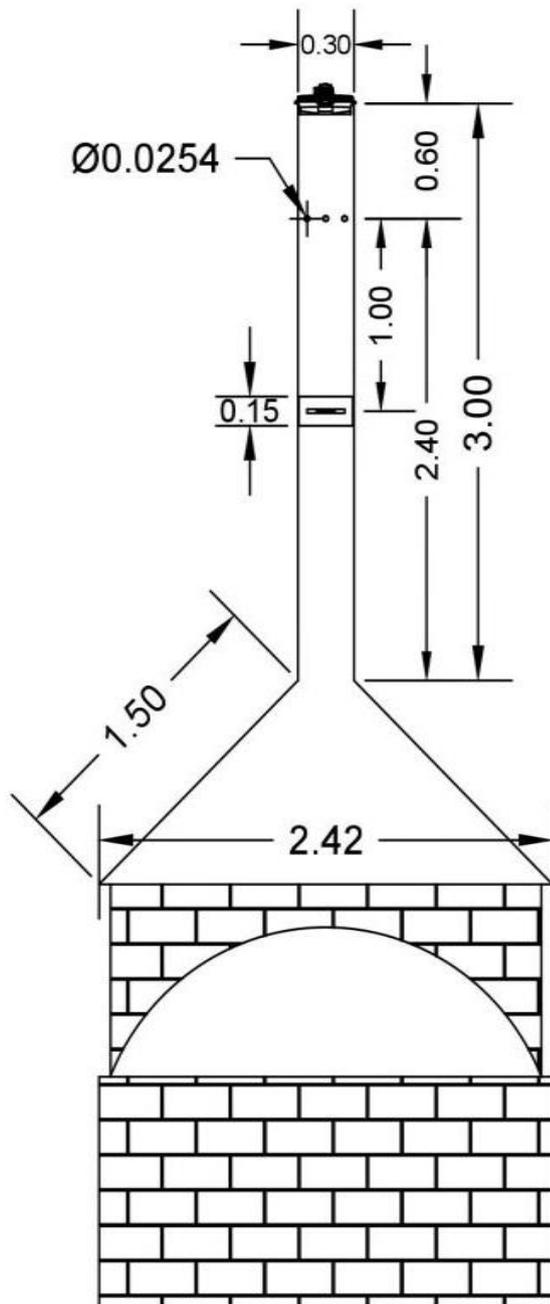
VISTA 3D



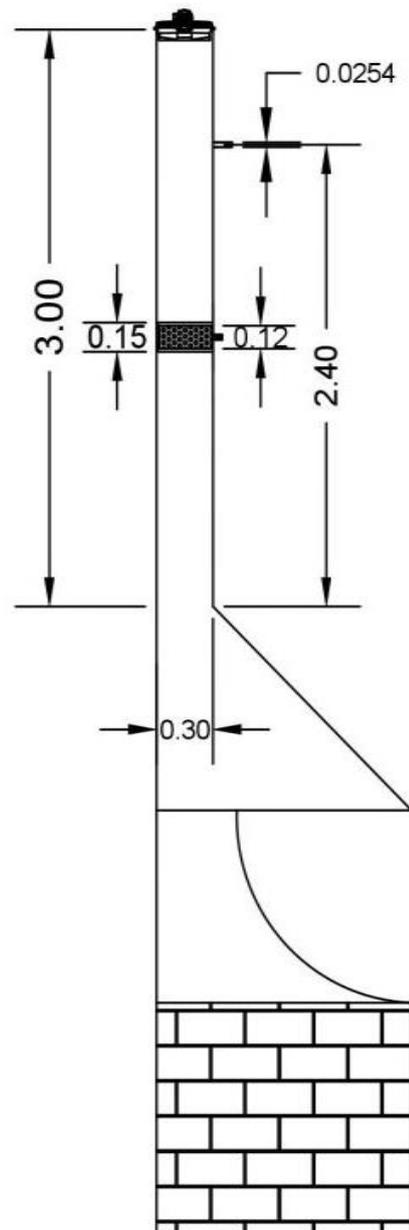
Escala 1 / 100

ANEXO 3: Esquematación del filtro de monolito de carbón en la chimenea de pollería

VISTA ALZADA

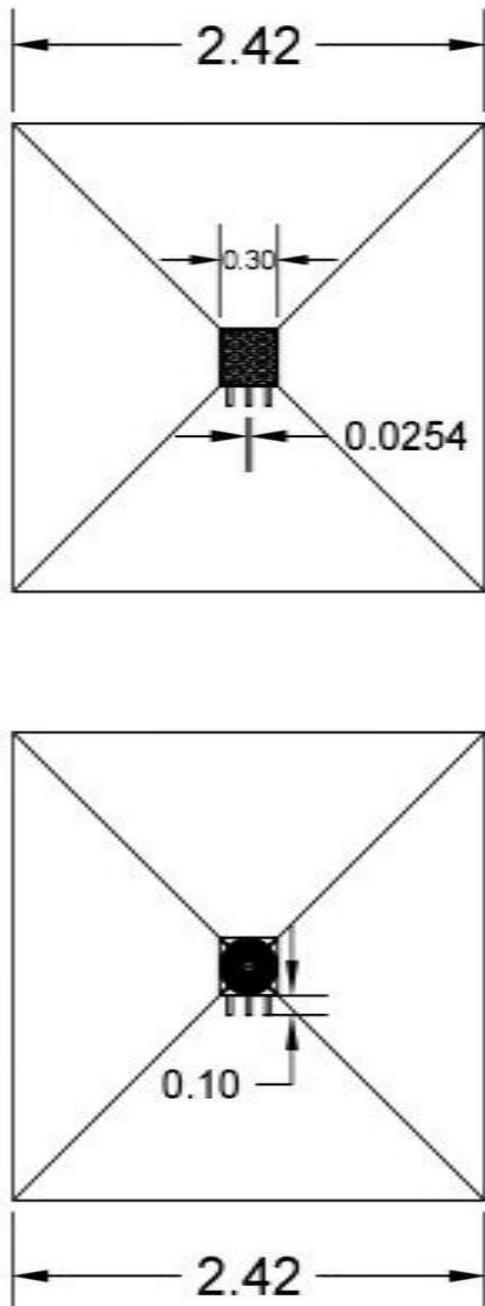


VISTA PERFIL

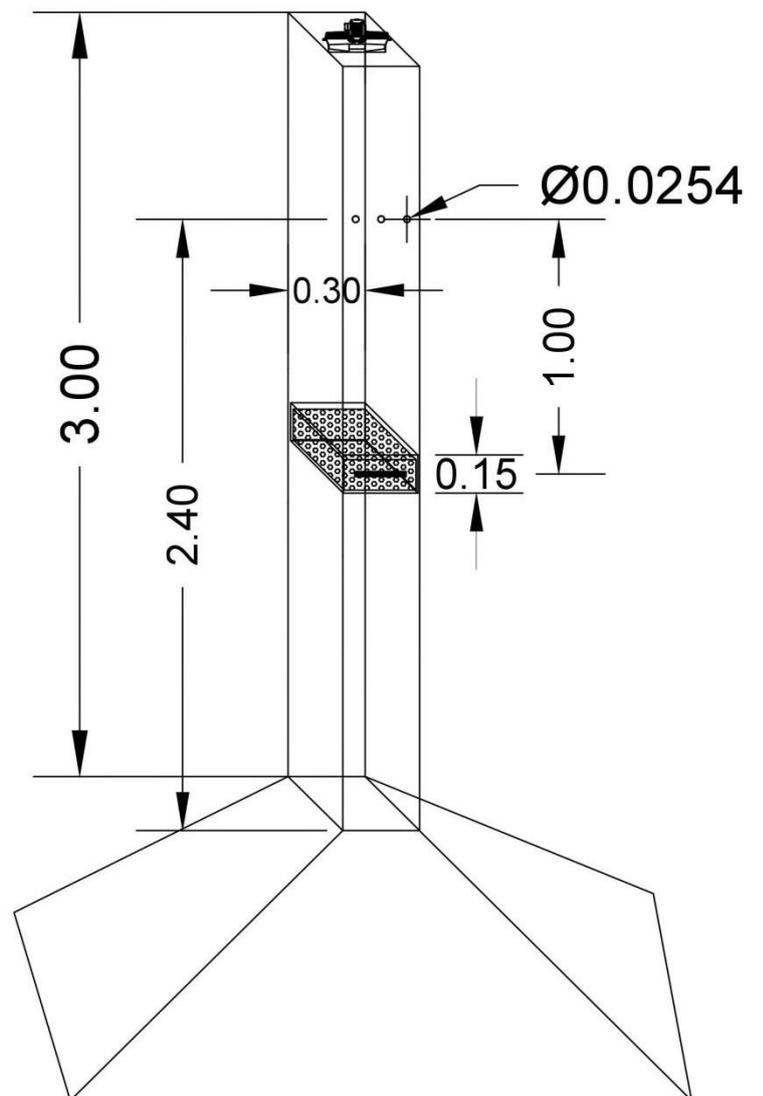


Escala 1 / 100

VISTA PLANTA



VISTA 3D



Escala 1 / 100

ANEXO 4: Medición de las concentraciones de CO emitidas por las pollerías

Para la determinación de puntos transversos del muestreo y la determinación de velocidad en fuentes estacionarias se utilizó el método establecido en la Norma Internacional de USEPA e-CFR Título 40, parte 60, Apéndice-1: Métodos 1, para medición de gases en fuentes fijas. (EPA,1971)

En la ubicación de los puntos de muestreo, se determinó el número de puntos transversales de muestreo para la medición de gases, para lo cual se hallaron las distancias A y B que son las distancias tomadas y medidas en la chimenea, estas distancias se hallaron mediante la división de estas con el diámetro general. Estos resultados de A y B son ubicados en un gráfico establecido internacionalmente por la EPA para la determinación de la cantidad de puntos de monitoreo en fuente fija. Después se determinó el número mínimo de puntos transversales, determinando la configuración de la matriz, se dividió la sección transversal de la chimenea en tantas áreas elementales rectangulares iguales como puntos transversales, y luego se ubicó el punto transversal en el centroide de cada área.

Se consideró la ubicación de los niples de muestreo para chimeneas rectangulares, las cuales deben ser establecidas en lado más corto de la chimenea. Los niples deben tener un diámetro de 4 pulgadas, y la longitud mínima deberá ser de 0,1m.

Para las chimeneas rectangulares se utilizó el mismo criterio, salvo que la ubicación de los puntos de muestreo se definieron en base al diámetro equivalente del conducto, esto con el objetivo de que el sitio de muestreo presente un flujo laminar. En la presente investigación, en primer lugar se determinó el Diámetro equivalente (De):

$$De = \frac{2LW}{(L + W)}$$

$$De = \frac{2(0.3)(0.3)}{(0.3 + 0.3)}$$

$$De = \frac{1.8}{0.6}$$

$$De = 0.3m$$

Una vez determinado el diámetro específico (D_e), se procedió a determinar las distancias para la colocación del niple, el cual será el punto por donde se monitoreó. Estas distancias se determinarán en 8 veces y 2 veces al diámetro específico hallado anteriormente.

$$8 D_e = 8(0.3 \text{ m}) = 2.4 \text{ m.} - (B)$$

$$2 D_e = 2(0.3 \text{ m}) = 0.6 \text{ m.} - (A)$$

Las distancias determinadas se medirán en la chimenea corriente arriba de una perturbación al flujo normal de gases de combustión. Se entiende por perturbación cualquier codo, contracción o expansión que posee la chimenea.

Posteriormente se determinó el número de puntos transversales de muestreo para la medición de gases, hallando las distancias A y B que son las distancias tomadas y medidas en la chimenea, estas distancias se hallaron con la división de estas con el diámetro general.

$$\text{Distancia A} = A/D_e = 0.6\text{m}/0.3\text{m} = 2$$

$$\text{Distancia B} = B/D_e = 2.4\text{m}/0.3\text{m} = 8$$

Estos resultados de A y B se ubicaron en un gráfico establecido internacionalmente por la EPA para la determinación de la cantidad de puntos de monitoreo en fuente fija, se tomó en cuenta que la gráfica es usada tanto para chimeneas circulares y chimeneas rectangulares, en este caso se consideró en número mayor de la intersección de ambos valores y se buscó la distribución de secciones transversales para chimeneas rectangulares.

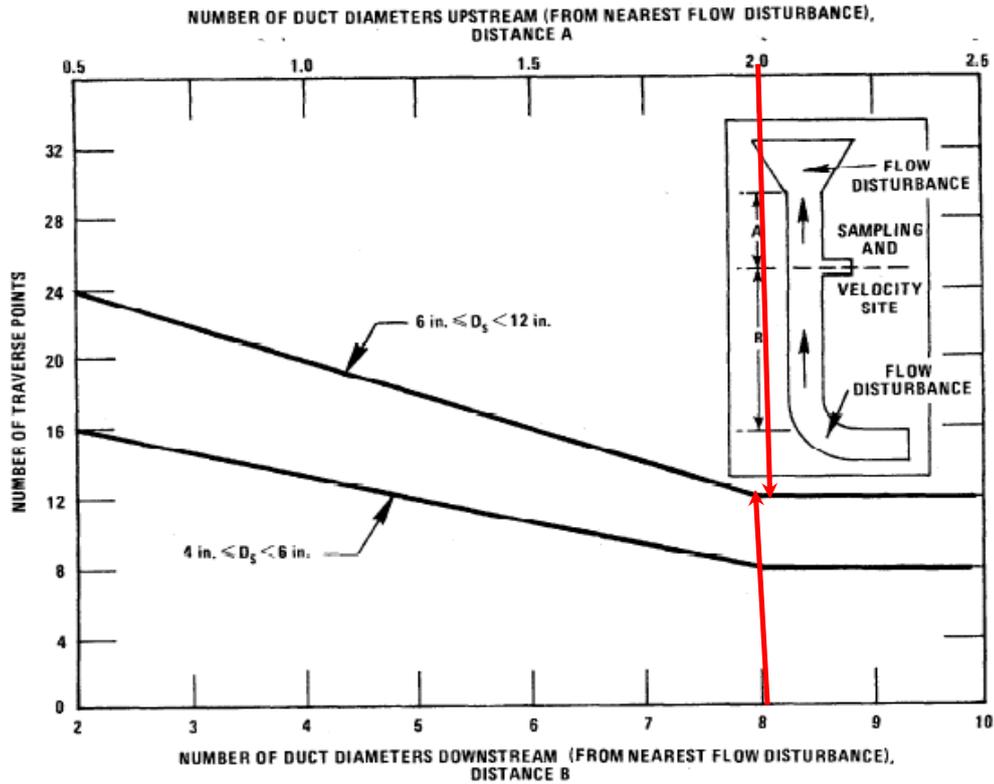


Figure 11. Minimum number of traverse points; $4 \text{ in.} \leq D_s < 12 \text{ in.}$; steady-flow only.

Figura 7: Localización de puntos transversales para chimeneas rectangulares.

Fuente: EPA-450/2-78-042d

En la figura se determinó que la intersección de la línea A y B se intersectan en la línea transversal del número 12 el cual sería el indicador del número de puntos transversales que se tomaron como muestra en la chimenea. Después de determinar el número mínimo de puntos transversales, se determinó la configuración de la matriz, que se muestra en la siguiente tabla:

Table 2. CROSS-SECTIONAL LAYOUT FOR RECTANGULAR STACKS

No. of traverse points	Layout
9	3 x 3
12	4 x 3
16	4 x 4
20	5 x 4
25	5 x 5
30	6 x 5
36	6 x 6
42	7 x 6
49	7 x 7

Figura N° 8: Configuración de la matriz de puntos transversales para chimeneas rectangulares.

Fuente: EPA-450/2-78-042d

Posteriormente se dividió la sección transversal de la chimenea en tantas áreas elementales rectangulares iguales como puntos transversales, y luego se ubicó el punto transversal en el centroide de cada área, como se muestra en la siguiente imagen.

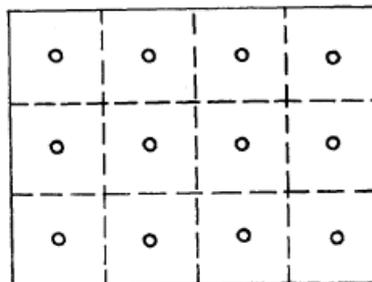


Figure 9b. Cross section of rectangular stack divided into 12 equal areas, with traverse points at centroid of each area.

Figura N° 9: Área y distribución de puntos transversales para chimeneas rectangulares.

Fuente: EPA-450/2-78-042d

Se consideró la ubicación de los niples de muestreo para chimeneas rectangulares, las cuales deben ser establecidas en lado más corto de la chimenea, es decir la ubicación es a 0,4m flujo debajo de la chimenea. Los niples deben tener un diámetro de 1

pulgada, y la longitud mínima deberá ser de 0,1m.

Para el monitoreo de emisiones en la chimenea se utilizó el equipo denominado TESTO, el cual cuenta con un sensor que se colocó en la salida de gas cuyos valores y composición desean medirse. Bajo cualquier circunstancia debe evitarse que el sensor toque las paredes del conducto de salida de gas pues las altas temperaturas pueden dañarlo e incluso fundirlo.

Se inició la toma de datos manteniendo el sensor en su misma posición durante 5 minutos, luego se detuvo la toma de datos en la unidad de control y se guardará los datos los cuales quedan grabados en la memoria interna del equipo. Inmediatamente después, en ese mismo menú, se seleccionó la opción imprimir con la impresora de papel térmico que posee. La transferencia de datos de la unidad de control a la impresora es a través de sensores infra-rojos por ello se removió la unidad de control de la unidad de análisis y se pegó la parte superior de esta con la parte inferior de la impresora; la impresión se realizó automáticamente. Hecho esto se tendrá impresos los resultados del muestreo; los cuales serán registrados en la ficha de observación (ANEXO 1) y procesados.

En el cálculo de la disminución de la concentración de CO al usar el filtro de monolito de carbón se aplicó:

$$\%D_{CO} = \frac{C_{f_{CO}} - C_{i_{CO}}}{C_{f_{CO}}} \times 100$$

Dónde:

$\%D_{CO}$: Porcentaje de disminución de la concentración de CO

$C_{i_{CO}}$: Concentración de Co inicial

$C_{f_{CO}}$: Concentración de Co final

ANEXO 5: Obtención del carbón activado, instalación del filtro y monitoreo de emisiones



Fotografía N° 1.- Preparación de la materia prima (Deshidratación de las cáscaras de plátano)



Fotografía N° 2.- Impregnación de la materia prima con ácido fosfórico a diferentes concentraciones



Fotografía N° 3.- Activación del carbón a 450 °C, lavado y neutralizado



Fotografía N° 4.- Conformado del monolito de carbón activado



Fotografía N° 5.- Instalación del filtro



Fotografía N° 6.- Medición de las concentraciones de CO en la pollería evaluada

ANEXO 6: Certificado de calibración del equipo testo 340



Certificado de Calibración

G-0108-18

Cliente:	KENNY CRUZ LOPEZ	<p>Instruments Lab S.A.C. cuenta con un laboratorio de calibración que trabaja bajo el sistema de gestión NTP ISO/IEC 17025:2006.</p> <p>Los patrones usados en las calibraciones son calibrados regularmente y son trazables a estándares nacionales e internacionales.</p> <p>Los documentos que se han generado como resultado del presente certificado de calibración, son estrictamente confidenciales y por ninguna causa serán exhibidos ni divulgados por el personal de Instruments Lab S.A.C., obligándose a guardar la confidencialidad de la información que se genere o desarrolle.</p> <p>El servicio de calibración es trazable al Sistema Internacional de Unidades de medida (SI).</p>
Dirección de Cliente:	Av. Larco 1771 - Distrito Víctor Larco Herrera - Trujillo	
Instrumento:	Analizador de Gases	
Fabricante:	Testo SE & Co. KGaA	
Modelo:	Testo 340	
N° de serie:	60724516	
Código Cliente:	No Indica	
Alcance de medición:	Ver especificaciones del instrumento (*)	
Resolución:	Ver especificaciones del instrumento (*)	
Exactitud:	Ver especificaciones del instrumento (*)	
N° de Orden de trabajo:	OT18-0084C	
Fecha de Calibración:	2018-09-24	
Lugar de Calibración:	Instruments Lab S.A.C.	
Emisión Certificado:	2018-09-24	

(*) Las especificaciones del instrumento se encuentran detalladas en las hojas de resultados por cada parámetro.

Incertidumbre de la medición

La incertidumbre expandida de la medición, fue calculada de acuerdo a las regulaciones de la GUM, con un factor de cobertura $k=2$, la cual contiene los procedimientos de incertidumbre de la medición y la incertidumbre del sistema de medición.

Procedimiento de Calibración

IL-PCG-001: "Procedimiento de calibración de analizadores de gases".

Método de Calibración

Comparación directa con un Material de Referencia Certificado.

Este certificado de calibración no puede ser reproducido total ni parcialmente, excepto con la autorización del Laboratorio. Los certificados de calibración sin firma ni sello no son válidos.

Condiciones Ambientales

Temperatura 21,5 °C **Humedad** 72,7 %HR

Sello



Supervisor

Percy López

Técnico

Pedro Fernández

INSTRUMENTS LAB S.A.C.
IL-FCG-001

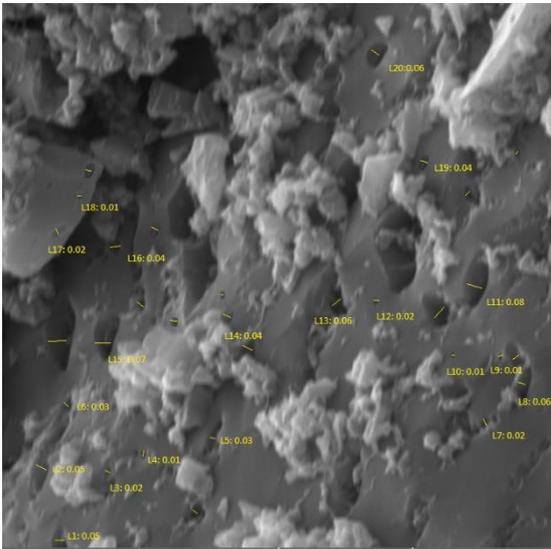
Pasaje Colonial N° 800
Urb. Los Pinos - Lima 01

+51 1 3803085
+51 1 3803086

www.instrumentslab.com.pe
info@instrumentslab.com.pe

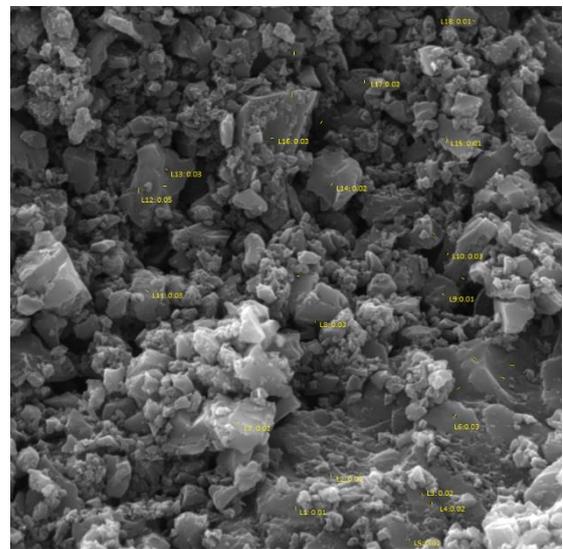
Página
1 de 3

ANEXO 7: Análisis del tamaño de poro – Microscopía Óptica de Barrido SEM



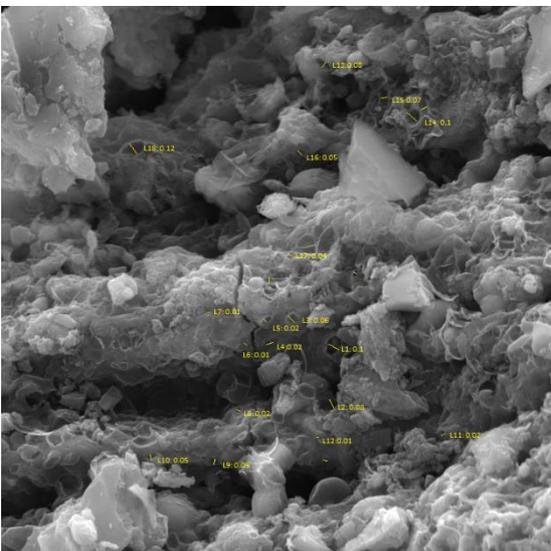
Fuente: Microscopía Óptica SEM

Figura N° 10: Estructura porosa del monolito MCP40-300



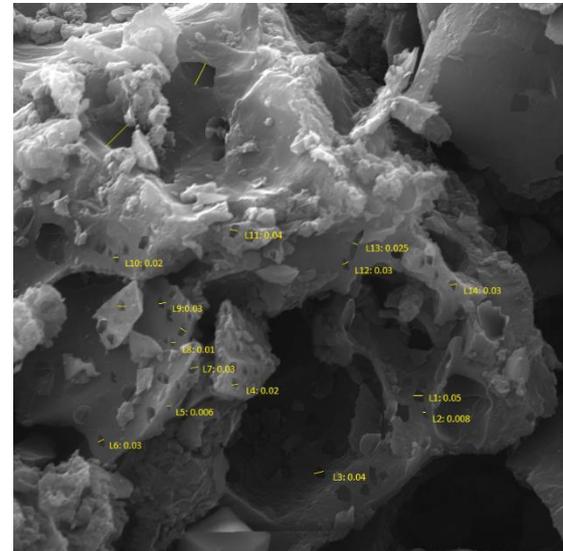
Fuente: Microscopía Óptica SEM

Figura N° 12: Estructura porosa del monolito MCP80-300



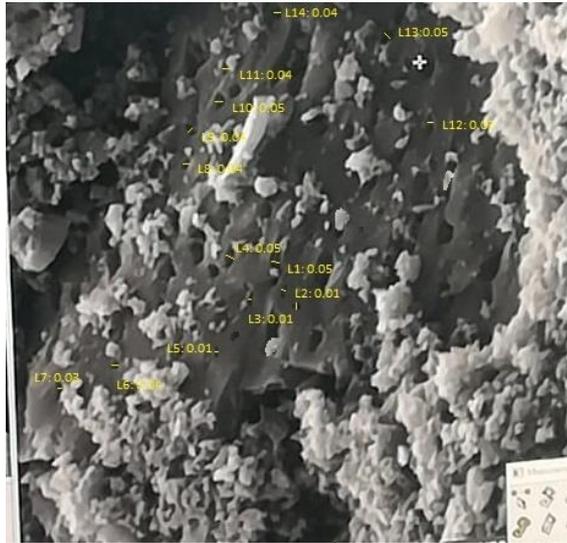
Fuente: Microscopía Óptica SEM

Figura N° 11: Estructura porosa del monolito MCP60-300



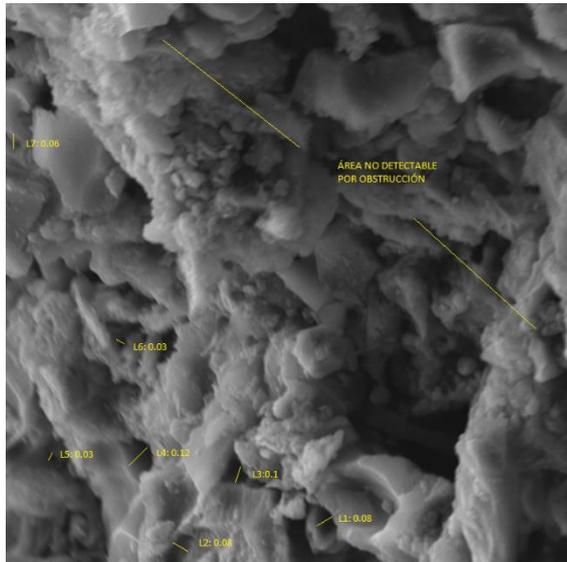
Fuente: Microscopía Óptica SEM

Figura N° 13: Estructura porosa del monolito MCP40-600



Fuente: Microscopia Óptica SEM

Figura N° 14: Estructura porosa del monolito MCP60-600



Fuente: Microscopia Óptica SEM

Figura N° 15: Estructura porosa del monolito MCP80-600

ANEXO 8: Reporte de los datos medidos por el equipo TESTO 340

VI. 10	testo 340 60724516/USA	VI. 10	testo 340 60724516/USA	VI. 10	testo 340 60724516/USA
FIL2		FIL2		FIL2	
PF2		PF2		PF2	
Start:	11/12/18 17:28:21	Start:	11/12/18 17:25:13	Start:	11/12/18 17:21:23
-	% Oxygen	-	% Oxygen	-	% Oxygen
833	ppm CO	840	ppm CO	823	ppm CO
3	ppm NO	3	ppm NO	3	ppm NO
3	ppm NOx	3	ppm NOx	3	ppm NOx
66.6	°C T stack	66.2	°C T stack	68.1	°C T stack
23.1	°C Ambient temp	23.3	°C Ambient temp	23.9	°C Ambient temp
-	% CO2	-	% CO2	-	% CO2
-	% EHF	-	% EHF	-	% EHF
-	% ExAir	-	% ExAir	-	% ExAir
-	mbar Diff. Press. 2	-	mbar Diff. Press. 2	-	mbar Diff. Press. 2
-	inH2O Draft	-	inH2O Draft	-	inH2O Draft
-	kg/h Mass flow CO	-	kg/h Mass flow CO	-	kg/h Mass flow CO
0	ft ³ /s Flow	0	ft ³ /s Flow	0	ft ³ /s Flow
629.3	fpm Velocity	629.3	fpm Velocity	629.3	fpm Velocity
0	ppm SO2	0	ppm SO2	0	ppm SO2
-	kg/h Mass flow No	-	kg/h Mass flow No	-	kg/h Mass flow No
-	kg/h Mass flow SO	-	kg/h Mass flow SO	-	kg/h Mass flow SO
Fuel:	Wood 40%M.	Fuel:	Wood 40%M.	Fuel:	Wood 40%M.
O2ref.:	7.0%	O2ref.:	7.0%	O2ref.:	7.0%
CO2max:	20.0%	CO2max:	20.0%	CO2max:	20.0%
Heat transf. °F:	- °F	Heat transf. °F:	- °F	Heat transf. °F:	- °F
VI. 10	testo 340 60724516/USA	VI. 10	testo 340 60724516/USA	VI. 10	testo 340 60724516/USA
FIL2		FIL2		FIL2	
PF2		PF2		PF2	
Start:	11/12/18 17:27:29	Start:	11/12/18 17:25:13	Start:	11/12/18 17:20:18
-	% Oxygen	-	% Oxygen	-	% Oxygen
842	ppm CO	840	ppm CO	853	ppm CO
3	ppm NO	3	ppm NO	3	ppm NO
3	ppm NOx	3	ppm NOx	3	ppm NOx
65.6	°C T stack	66.2	°C T stack	67.5	°C T stack
23.0	°C Ambient temp	23.3	°C Ambient temp	23.3	°C Ambient temp
-	% CO2	-	% CO2	-	% CO2
-	% EHF	-	% EHF	-	% EHF
-	% ExAir	-	% ExAir	-	% ExAir
-	mbar Diff. Press. 2	-	mbar Diff. Press. 2	-	mbar Diff. Press. 2
-	inH2O Draft	-	inH2O Draft	-	inH2O Draft
-	kg/h Mass flow CO	-	kg/h Mass flow CO	-	kg/h Mass flow CO
0	ft ³ /s Flow	0	ft ³ /s Flow	0	ft ³ /s Flow
629.3	fpm Velocity	629.3	fpm Velocity	629.3	fpm Velocity
0	ppm SO2	0	ppm SO2	0	ppm SO2
-	kg/h Mass flow No	-	kg/h Mass flow No	-	kg/h Mass flow No
-	kg/h Mass flow SO	-	kg/h Mass flow SO	-	kg/h Mass flow SO
Fuel:	Wood 40%M.	Fuel:	Wood 40%M.	Fuel:	Wood 40%M.
O2ref.:	7.0%	O2ref.:	7.0%	O2ref.:	7.0%
CO2max:	20.0%	CO2max:	20.0%	CO2max:	20.0%
Heat transf. °F:	- °F	Heat transf. °F:	- °F	Heat transf. °F:	- °F
VI. 10	testo 340 60724516/USA	VI. 10	testo 340 60724516/USA	VI. 10	testo 340 60724516/USA
FIL2		FIL2		FIL2	
PF2		PF2		PF2	
Start:	11/12/18 17:26:32	Start:	11/12/18 17:24:38	Start:	11/12/18 17:19:51
-	% Oxygen	-	% Oxygen	-	% Oxygen
842	ppm CO	833	ppm CO	905	ppm CO
3	ppm NO	3	ppm NO	4	ppm NO
3	ppm NOx	3	ppm NOx	4	ppm NOx
66.6	°C T stack	67.1	°C T stack	67.7	°C T stack
23.4	°C Ambient temp	23.0	°C Ambient temp	23.0	°C Ambient temp
-	% CO2	-	% CO2	-	% CO2
-	% EHF	-	% EHF	-	% EHF
-	% ExAir	-	% ExAir	-	% ExAir
-	mbar Diff. Press. 2	-	mbar Diff. Press. 2	-	mbar Diff. Press. 2
-	inH2O Draft	-	inH2O Draft	-	inH2O Draft
-	kg/h Mass flow CO	-	kg/h Mass flow CO	-	kg/h Mass flow CO
0	ft ³ /s Flow	0	ft ³ /s Flow	0	ft ³ /s Flow
629.3	fpm Velocity	629.3	fpm Velocity	629.3	fpm Velocity
0	ppm SO2	0	ppm SO2	0	ppm SO2
-	kg/h Mass flow No	-	kg/h Mass flow No	-	kg/h Mass flow No
-	kg/h Mass flow SO	-	kg/h Mass flow SO	-	kg/h Mass flow SO
Fuel:	Wood 40%M.	Fuel:	Wood 40%M.	Fuel:	Wood 40%M.
O2ref.:	7.0%	O2ref.:	7.0%	O2ref.:	7.0%
CO2max:	20.0%	CO2max:	20.0%	CO2max:	20.0%
Heat transf. °F:	- °F	Heat transf. °F:	- °F	Heat transf. °F:	- °F

ANEXO 9: Resultados de la disminución de CO mediante el filtro de monolito de carbón

Tabla N° 8: Valores de las cuatro repeticiones de la disminución de CO mediante el filtro de monolito de carbón

FILTRO DE MONOLITO DE CARBON													
CODIGO	VARIABLES		CONCENTRACIONES DE MONOXIDO DE CARBONO (ppm)										% DISMINUCIÓN DE CO
	PRESION DE COMPACTACIÓN (PSI)	CONCENTRACIÓN DE H₂PO₄ (%)	R1		R2		R3		R4		PROMEDIOS		
			Pretratamiento	Postratamiento	Pretratamiento	Postratamiento	Pretratamiento	Postratamiento	Pretratamiento	Postratamiento	Pretratamiento	Postratamiento	
MCP40-300		40	868.92	728.03	963.33	798.60	851.17	704.17	801.17	676.73	871.15	726.88	16.56
MCP60-300	300	60	1068.75	913.93	1086.08	892.63	1000.08	846.53	1041.00	896.20	1048.98	887.32	15.41
MCP80-300		80	1128.50	960.93	1146.00	968.00	1166.50	986.80	1075.75	935.17	1129.19	962.73	14.74
MCP40-600		40	1113.58	879.43	983.25	806.33	998.00	805.17	848.17	707.20	985.75	799.53	18.89
MCP60-600	600	60	868.92	610.37	957.50	661.57	843.75	631.10	839.83	591.63	877.50	623.67	28.93
MCP80-600		80	1113.50	961.50	1090.92	947.80	1121.33	960.87	1130.17	983.53	1113.98	963.43	13.51

Fuente: propia

*R1: Primera repetición

ANEXO 10: Análisis estadístico

Tabla N° 9: Prueba de normalidad para la presión de compactación

Presión		Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Disminución de CO (ppm)	300	,903	12	,175
	600	,886	12	,106

Fuente: IBM SPSS Estatistics 22

Tabla N° 10: Prueba de normalidad para la concentración de H₂PO₄

Concentración de H ₂ PO ₄		Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Disminución de CO (ppm)	40	,920	8	,428
	60	,810	8	,056
	80	,946	8	,673

Fuente: IBM SPSS Estatistics 22

H0: Los valores de disminución de CO mediante el filtro de monolito de carbón de las emisiones generadas por pollerías siguen una distribución normal

H1: Los valores de disminución de CO mediante el filtro de monolito de carbón de las emisiones generadas por pollerías no siguen una distribución normal

En ambos casos obtenemos un valor $p > 0.05$ por lo tanto se rechaza H1 y se cumple con el supuesto de normalidad

Tabla N° 11: Prueba de homogeneidad de varianzas

Contraste de Levene sobre la igualdad de las varianzas error^a			
Variable dependiente: Disminución de CO (ppm)			
F	gl1	gl2	Sig.
1,167	5	18	,363

Fuente: IBM SPSS Estatistics 22

H0: Los valores de disminución de CO mediante el filtro de monolito de carbón de las emisiones generadas por pollerías son homogéneos

H1: Los valores de disminución de CO mediante el filtro de monolito de carbón de las emisiones generadas por pollerías no son homogéneos

Obtenemos un valor $p > 0.05$ por lo tanto se rechaza H1 y se cumple con la prueba de homogeneidad procedemos a realizar el ANOVA

Tabla N° 12: Prueba de ANOVA

Pruebas de los efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Disminución de CO (ppm)					
Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	371174,161 ^a	5	74234,832	44,005	,000
Intersección	16424585,492	1	16424585,492	9736,201	,000
Presión	24143,995	1	24143,995	14,312	,001
Concentración	221589,218	2	110794,609	65,677	,000
Presión * Concentración	125440,948	2	62720,474	37,180	,000
Error	30365,286	18	1686,960		
Total	16826124,938	24			
Total corregida	401539,446	23			

a. R cuadrado = ,924 (R cuadrado corregida = ,903)

Fuente: IBM SPSS Statistics 22

H0: No existen diferencias significativas entre los factores presión de compactación y concentración de ácido fosfórico evaluados en el filtro de monolitos de carbón

H1: Existe diferencias significativas entre los factores presión de compactación y concentración de ácido fosfórico evaluados en el filtro de monolitos de carbón

Obtenemos un valor $p < 0.05$ por lo tanto aceptamos nuestra H1

Tabla N° 13: Prueba Post Hoc - DHS de Tukey

Sub Conjuntos Homogéneos para la concentración de ácido fosfórico

Disminución de CO (ppm)

Concentración de H ₂ PO ₄	N	DHS de Tukey	
		Subconjunto	
		1	2
60	8	755,4950	
40	8	763,2075	
80	8		963,0750
Sig.		,926	1,000

Fuente: IBM SPSS Estatistics 22

Vemos que la mejor concentración la presenta la concentración de ácido fosfórico al 60%