

**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



**Disminución de la concentración de PM<sub>10</sub> que generan los hornos de combustión de las pollerías utilizando el sistema hidrociclón**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

**Autores:**

Jefferson Carranza Marín  
María Esther Huamán Vásquez

**Asesor:**

Mtra. Betsabeth Teresa Padilla Macedo

Tarapoto, diciembre del 2022

## DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DE TESIS

Yo, Mtra. Betsabeth Teresa Padilla Macedo, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: “DISMINUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE PM<sub>10</sub> QUE GENERAN LOS HORNOS DE COMBUSTIÓN DE LAS POLLERÍAS UTILIZANDO EL SISTEMA HIDROCICLÓN” constituye la memoria que presenta el Bachiller Jefferson Carranza Marin y la Bachiller Maria Esther Huamán Vásquez para obtener el título de Profesional de Ingeniero Ambiental, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en la ciudad de Tarapoto, a los 24 días del mes de febrero del año 2023



Betsabeth Teresa Padilla Macedo

### ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En San Martín, Tarapoto, Morales, a 28 día(s) del mes de diciembre del año 2022, siendo las 18:30 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Tarapoto, bajo la dirección del (de la) presidente(a): Mtro. Carmelino Almaster Villegas, el (la) secretario(a): Mtro. Jhon Patrick Rios Bartra y los demás miembros: Ing. Ericka Nayda Perales Dominguez

..... y el (la) asesor(a) Mtra. Betsabeth Teresa Padilla Macedo  
 ..... con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado: Disminución de la concentración de PM10 que generan los hornos de combustión de las pollerías utilizando el sistema Hidrociclón.

del(los) bachiller/es: a) Jefferson Carranza Marin  
 b) Maria Esther Huamán Vásquez  
 c) .....

..... conducente a la obtención del título profesional de: .....

Ingeniero Ambiental

(Denominación del Título Profesional)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Bachiller-(a): Jefferson Carranza Marin

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	17	B+	Muy Bueno	Sobresaliente

Bachiller -(b): Maria Esther Huamán Vásquez

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	17	B+	Muy Bueno	Sobresaliente


Bachiller -(c): .....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(\*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

\_\_\_\_\_  
 Presidente/a

  
 \_\_\_\_\_  
 Secretario/a

\_\_\_\_\_  
 Asesor/a

\_\_\_\_\_  
 Miembro

\_\_\_\_\_  
 Miembro

\_\_\_\_\_  
 Bachiller (a)

\_\_\_\_\_  
 Bachiller (b)

\_\_\_\_\_  
 Bachiller (c)

## Abstract

This investigation aimed to reduce the concentration of  $PM_{10}$  generated by the combustion ovens of the chicken restaurants using the hydrocyclone system. Which used as a methodology for the construction of a system known as a hydrocyclone in which it has a cyclone, water system, water dispersers, a grease trap-style settler, volume of working water, and a water pump, to determine the reduction presented by the system mentioned above, three measurements of particulate material were made before and three measurements after. The concentrations of the first measurement were obtained with an oscillating value of  $0.1375 \text{ mg/m}^3$  and measurement afterward with a value of  $0.1192 \text{ mg/m}^3$ . In the second measurement before, it was a value of  $0.2116 \text{ mg/m}^3$ , and after  $0.1017 \text{ mg/m}^3$ , and from the third measurement before, it was a value of  $0.2751 \text{ mg/m}^3$  and after  $0.0786 \text{ mg/m}^3$ . Concluding that the decrease in particulate material from the hydrocyclone system when using a water atomizing nozzle in the first measurement was 13.31%, in the second measurement, it was 51.94%, and in the third measurement, it was 71.43%, giving rise to an average of 52 % in the total reduction of the polluting source.

**Keywords:** hydrocyclone; Particulate Matter; System; Pollutant.

## Resumen

El objetivo de esta investigación fue disminuir la concentración de  $PM_{10}$  que generan los hornos de combustión de las pollerías utilizando el sistema hidrociclón. La cual se utilizó como metodología la construcción de un sistema conocido como hidrociclón en las que cuenta con un ciclón, sistema hídrico, dispersores de agua, un sedimentador estilo trampa de grasas, volumen de agua de trabajo y una bomba de agua, para determinar la disminución que presenta el sistema mencionado se realizaron tres mediciones de material particulado antes y tres mediciones después. De los cuales se obtuvieron como resultado las concentraciones de la primera medición antes con valor oscilante de  $0.1375 \text{ mg/m}^3$  y medición después con valor de  $0.1192 \text{ mg/m}^3$ , en la segunda medición antes fue un valor de  $0.2116 \text{ mg/m}^3$  y después de  $0.1017 \text{ mg/m}^3$ , y de la tercera medición antes fue un valor de  $0.2751 \text{ mg/m}^3$  y después de  $0.0786 \text{ mg/m}^3$ . Concluyendo que la disminución del material particulado del sistema hidrociclón al utilizar una boquilla atomizadora de agua en la primera medición fue del 13.31% en la segunda medición fue del 51.94% y en la tercera medición fue del 71.43%, dando lugar a un promedio del 52% en la reducción total de la fuente contaminante.

**Palabras clave:** Hidrociclón; Material Particulado; Sistema; Contaminante.

## 1. Introducción

A nivel mundial, uno de los agentes que desequilibra la composición natural del aire es el material particulado, esta, según la Agencia de Protección Ambiental es generado por fuentes naturales y antropogénicas, mientras que, para el Ministerio del Ambiente por fuentes antropogénicas entre móviles, puntuales y de área [3,18].

Esta investigación, se enfoca en los generadores de material particulado clasificados como fuentes de área, específicamente en los establecimientos de comida como pollería y restaurantes que utilizan como mecanismo de trabajo los hornos de combustión. Para [6,16] dichos establecimientos, son los principales generadores de material particulado, afectando directamente a la población y contribuyendo la morbilidad y mortalidad. Según estudios físicos epidemiológicos realizados por [23], determinaron que partículas entre  $30 \mu\text{m}$  a  $10 \mu\text{m}$  afectan al conducto nasal y la región extratorácica, entre  $10 \mu\text{m}$  a  $2.5 \mu\text{m}$  a la región torácica y la región traqueobronquial y menores  $2.5 \mu\text{m}$  a la región alveolar.

Así mismo, una de las principales preocupaciones socio-ambientales es que cada año, las pollerías y

restaurantes aumentan en número, concordando con los informes proporcionados por la Cámara Nacional de Turismo del Perú registró en el año 2020 aproximadamente 200000 establecimientos de pollerías en funcionamiento en el Perú [8] y en la provincia de San Martín según el Ministerio de Comercio Exterior y Turismo, registraron 376 restaurantes y pollerías no categorizados y 8 categorizados; por consiguiente, las concentraciones de material particulado aumentan en progresiones geométricas y por ende proporcionarían daños a los seres vivos [17, 26].

Por otro lado, se desconoce alternativas que se emplee para disminuir las concentraciones que generan estos establecimientos del sector alimentario; mientras que, el sector minería, cuenta con una gama de tecnologías que disminuyen las concentraciones del material particulado que generan; estas tecnologías son conocidas como ciclones, multiciclones, depuradores Venturi, precipitadores electrostáticos, filtro de manga, torre de aspersion, aspersion ciclónico y lavado por colisión [27,28,22,2,4].

Por ese motivo, vista la problemática que nos enfrentamos, se pretende determinar la disminución de

la concentración de PM<sub>10</sub> que genera los hornos de combustión de las pollerías utilizando el sistema hidrociclón en la provincia y región de San Martín, con el fin de obtener un prototipo que disminuya las concentraciones de material particulado y contribuir en las alternativas propuestas para el sector alimentario que generan estos agentes contaminantes.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1. Área de estudio

La presente investigación fue conllevada en una pollería ubicada en la ciudad de Tarapoto, provincia y departamento San Martín. Dicha pollería fue utilizada como muestra de estudio para poder establecer el principio de disminución del material particulado que generan los hornos de combustión de dicho establecimiento utilizando el sistema hidrociclón.

### 2.2. Diseño del hidrociclón

Para su diseño específico, se tomó como referencia y guía los estudios establecidos por [25,1,12], considerando y adaptando a nuestra realidad problemática, por lo que el sistema hidrociclón está compuesta por un ciclón, un sedimentador estilo trampa de grasas, un dispersor de agua y una hidrobomba de agua; para su dimensionamiento se utilizó los siguientes procesos.

#### 2.2.1. Dimensionamiento del ciclón

El diseño del ciclón está constituida por la dependencia del diámetro del ciclón ( $D_C$ ) por lo cual, se asumió un diámetro de 0.45 metros, por consiguiente mediante la ecuación 1 se determinó la altura de entrada del contaminante ( $a_C$ ) obteniendo un valor de 0.23 metros, con la ecuación 2 se determinó la base de entrada del contaminante ( $b_C$ ) que se obtuvo un valor de 0.09 metros, con la ecuación 3 se determinó la altura de salida ( $S_C$ ) obtenido un valor de 0.23 metros, con la ecuación 4 se determinó el diámetro de salida del gas purificado ( $D_S$ ) obteniendo un valor de 0.23 metros, con la ecuación 5 se determinó la altura parte cilíndrica del ciclón ( $h_C$ ) obteniendo un valor de 1.13 metros, con la ecuación 6 se determinó la altura parte cónica del ciclón ( $Z_C$ ) obteniendo un valor de 0.68 metros, con la ecuación 8 se determinó el diámetro de salida del ciclón del contaminante ( $B_C$ ) obteniendo un valor de 0.17 metros y con la ecuación 7 se determinó la altura total del ciclón ( $H_C$ ) obteniendo un valor de 1.8 metros.

$$a_C = 0.5x D_C \quad (1)$$

$$b_C = 0.2x D_C \quad (2)$$

$$S_C = 0.5x D_C \quad (3)$$

$$D_S = 0.5x D_C \quad (4)$$

$$B_C = 0.375x D_C \quad (5)$$

$$h_C = 2.5x D_C \quad (6)$$

$$H_C = 4x D_C \quad (7)$$

$$Z_C = 1.5x D_C \quad (8)$$

#### 2.2.2. Dimensionamiento del sedimentador trampa de grasas

Para las dimensiones geométricas del sedimentador estilo trampa de grasa, se consideró la ecuación 9 en las que nos permitió determinar un valor de 0.000032 m/s como velocidad de sedimentación del material particulado ( $V_{SS}$ ), considerando la aceleración de la gravedad ( $g$ ) de 9.85 m/s<sup>2</sup>, la densidad de la partícula ( $\rho_{pi}$ ) de 1300 kg/m<sup>3</sup>, densidad del agua ( $\rho_L$ ) de 981 kg/m<sup>3</sup>, diámetro de partícula promedio ( $D_{pi}$ ) de 0.000004 metros, y la viscosidad dinámica del agua ( $\mu_a$ ) de 0.0000087 promedio general de los diámetros del material particulado que están entre (1 a 10) micrómetros ( $D_{pi}$ ) es de 0.000004 metros, velocidad de sedimentación ( $V_{SS}$ ) de 0.000022 m/s, tipo de flujo es laminar ya que el número de Reynold ( $Re$ ) es 0.00011.

$$V_{SS} = \frac{g \times (\rho_{pi} - \rho_L) \times D_{pi}^2}{18 \times \mu_a} \quad (9)$$

Así mismo, es indispensable saber el tipo de flujo ( $Re$ ) mediante la ecuación 10, determinando un valor de 0.00144, por lo que es considerado como flujo laminar.

$$Re = \frac{V_{SS} \times D_{pi} \times \rho_L}{\mu_a} \quad (10)$$

Por otro lado, es indispensable determinar el caudal de agua dispersada ( $Q_L$ ) mediante la ecuación 11, obteniendo un valor de 0.00001 m<sup>3</sup>/s, tomando en consideración que el volumen del agua dispersada en el ciclón ( $V_{ac}$ ) es de 0.0002 m<sup>3</sup> y el tiempo del volumen dispersado ( $t_{VDC}$ ) es de 20 segundos.

$$Q_L = \frac{V_{ac}}{t_{VDC}} \quad (11)$$

El área superficial de las unidades ( $A_S$ ) es 0.3128 metros cuadrados, mediante la ecuación 12; posterior mediante la ecuación 13 se determinó la longitud de la zona sedimentable ( $L_2$ ) obteniendo un valor de 0.348 metros, con la ecuación 14, se determinó la longitud de la primera, segunda, tercera y cuarta caja sedimentable ( $L_a$ ,  $L_b$ ,  $L_c$  y  $L_d$ ) obteniendo un valor de 0.48 metros, ya obtenida estos parámetros mediante la ecuación 15 se determinó la Longitud total del sedimentador ( $L_S$ ) obteniendo un valor de 2.3 metros, asumiendo que la longitud entre la pared y la pantalla difusora ( $L_1$ ) es de 0.35 metros.

$$A_S = \frac{Q_L}{V_{SS}} \quad (12)$$

$$L_2 = \frac{A_S}{B_S} \quad (13)$$

$$L_a = L_b = L_c = L_d = L_2 + 0.132 \quad (14)$$

$$L_S = L_1 + (4 * L_a) \quad (15)$$

Mediante la ecuación 16, se determinó la velocidad horizontal sedimentable ( $V_H$ ) obteniendo un valor de 0.0037 m/s, luego, con la ecuación 17 se determinó la velocidad de arrastre ( $V_A$ ) obteniendo un valor de 1.62 cm/s, finalmente mediante la ecuación 18 se determinó el tiempo de retención hidráulica ( $T_R$ ) con un valor de 26.1 segundos.

$$V_H = \frac{100 \times Q_L}{B_S \times H_S} \quad (16)$$

$$V_A = \sqrt{\frac{8 \times \beta \times g \times (\rho_p - 1) \times D_{pi}}{F}} \quad (17)$$

$$T_R = \frac{A_S \times H_S}{360 \times Q_L} \quad (18)$$

Mediante la ecuación 19, se determinó la altura de lodo acumulado ( $h_L$ ) obteniendo un valor de 0.23 metros, mediante la ecuación 20 se determinó el espacio entre la pared del sedimentador con la pantalla difusora ( $e_p$ ) obteniendo un valor de 0.16 metros, con la ecuación 21 se determinó los orificios más altos y los orificios más bajos de la pantalla difusora ( $h_A$ ) con un valor de 0.06 metros y con la ecuación 22 se determinó la altura de la pantalla difusora con orificios ( $h_{CC}$ ) obteniendo un valor de 0.18 metros, teniendo en cuenta que se asume una profundidad de sedimentador ( $H_S$ ) de 0.3 metros.

$$h_L = 0.1 \times L_S \quad (19)$$

$$e_p = \frac{\sqrt{2}}{2} \times h_L \quad (20)$$

$$h_A = \frac{H_S}{5} \quad (21)$$

$$h_{CC} = H_S - \frac{2 * H_S}{5} \quad (22)$$

Con la ecuación 23, se determinó el área total de los orificios ( $A_O$ ) obteniendo un valor de 0.01111 m<sup>2</sup>, teniendo como referencia la velocidad de paso a través de los orificios ( $V_O$ ) con un valor de 0.0009 m/s, con la ecuación 24 se determinó el área de cada orificio ( $a_o$ ) obteniendo un valor de 0.00071 m<sup>2</sup>, asumiendo un diámetro de cada orificio ( $D_O$ ) de 0.03 metros, con la ecuación 25 se determinó el número de orificios en la pantalla difusora ( $n_O$ ) obteniendo como valor la cantidad de 16 orificios, con la ecuación 26 se determinó el número de filas y columnas de la pantalla difusora ( $n_F$  y  $n_C$ ) obteniendo un valor de 4, con la ecuación 27 se determinó el espacio entre filas de

orificios ( $e_f$ ) obteniendo un valor de 0.06 metros, con la ecuación 28 se determinó el espacio entre columnas de orificios ( $e_c$ ) obteniendo un valor de 0.18 metros.

$$A_O = \frac{Q_L}{V_O} \quad (23)$$

$$a_o = \frac{\pi \times D_O^2}{4} \quad (24)$$

$$n_O = \frac{A_O}{a_o} \quad (25)$$

$$n_F, n_C = \sqrt{n_O} \quad (26)$$

$$e_F = \frac{h_{CC}}{n_F - 1} \quad (27)$$

$$e_C = \frac{B_S}{n_C + 1} \quad (28)$$

Posteriormente, mediante la ecuación 29 se determinó la altura del volumen extra ( $h_2$ ) obteniendo un valor de 0.0001 metros, con la ecuación 30 se determinó la altura extra del volumen de lodo acumulado ( $h_3$ ) obteniendo un valor de 0.012 metros, con la ecuación 31 se determinó la altura extra del sedimentador ( $h_4$ ) obteniendo un valor de 0.09 metros, y finalmente a través de la ecuación 32 se determinó la altura total de la caja del sedimentador ( $H_{TTS}$ ) obteniendo un valor de 0.63 metros.

$$h_2 = \frac{V_{ET}}{L_S \times B_S} \quad (29)$$

$$h_3 = \frac{V_{TRL}}{L_S \times B_S} \quad (30)$$

$$h_4 = 0.3 \times H_S \quad (31)$$

$$H_{TTS} = H_S + h_L + h_2 + h_3 + h_4 \quad (32)$$

### 2.2.3. Hidrobomba y dispersores

El caudal del agua que será dispersada ( $Q_L$ ) fue determinada mediante la ecuación 11, determinando un valor de 0.00001 m<sup>3</sup>/s, en las que será dispersada por un dispersor de agua ( $N_D$ ) determinada mediante la ecuación 33, que presenta un espacio de dispersor ( $E_D$ ) de 0.32 determinada mediante la ecuación 34, un solapado de los ángulos de pulverización ( $O_S$ ) de 0.13 determinada mediante la ecuación 35, presentando una velocidad de caída de la gota ( $V_{ga}$ ) de 0.003 m/s determinado por la ecuación 36 y un diámetro promedio de las gotas de agua ( $\Phi$ ) de 0.00012 metros determinada mediante la ecuación 37; por lo que se ha considerado un diámetro del ciclón ( $D_C$ ) de 0.45 metros, diámetro final de la zona dispersada ( $D_{DS}$ ) de 0.45 metros, velocidad de flujo contaminante ( $V_i$ ) de 45 m/s, tensión superficial del agua ( $\sigma$ ) de 77 dinas/cm, densidad del agua ( $\rho$ ) de 981 kg/m<sup>3</sup>, viscosidad dinámica del agua ( $\mu_a$ ) de 0.000769 kg/ms, caudal del flujo contaminante ( $Q_g$ ) de 0.6 m<sup>3</sup>/s, densidad de

partícula ( $\rho_{MP}$ ) de 1300 kg/m<sup>3</sup> y aceleración de la gravedad ( $g$ ) es 9.81 m/s<sup>2</sup>.

$$N_D = \frac{D_C^2}{D_{DS}^2} \quad (33)$$

$$E_D = \frac{D_{DS}}{\sqrt{2}} \quad (34)$$

$$O_S = D_{DS} - E_D \quad (35)$$

$$\phi = \left( \frac{58600}{V_i} \right) \times \sqrt{\frac{\sigma}{\rho_L}} + 597 \times \left( \frac{\mu_a}{\sqrt{\sigma \times \rho_L}} \right)^{0.45} \quad (37)$$

$$V_{ga} = \frac{\phi^2 \times (\rho_{MP} - \rho_L) \times g}{18 \times \mu_a} \times 1000 \times \sqrt{\left( \frac{Q_L}{Q_g} \right)^3} \quad (36)$$

Así mismos, mediante la ecuación 38 se determinó la velocidad en que el flujo se desplaza ( $V_{LT}$ ) obteniendo un valor de 1.98 m/s, mediante la ecuación 39 se determinó el diámetro interno de la tubería ( $D_t$ ) obteniendo un valor de 0.003 metros y un tipo de flujo transicional determinado mediante la ecuación 40 obteniendo un valor de 6403 número de Reynolds ( $Re$ ), teniendo como parámetros la longitud total de la tubería ( $L_T$ ) de 4 metros, tiempo de llegada al dispersor ( $T_{S-D}$ ) es de 2.02 segundos, densidad del agua ( $\rho_L$ ) es de 981 kg/m<sup>3</sup> y la viscosidad dinámica del agua ( $\mu_a$ ) es de 0.000769 kg/ms.

$$V_{LT} = \frac{L_T}{T_{S-D}} \quad (38)$$

$$D_t = 1.128 \times \sqrt{\frac{Q_L}{V_{LT}}} \quad (39)$$

$$Re = \frac{D_t \times V_{LT} \times \rho_L}{\mu_a} \quad (40)$$

Por medio de la ecuación 41, se determinó el coeficiente de fricción ( $f$ ) obteniendo un valor de 0.00999, determinado ello se encontró la pérdida mayor de fricción de Darcy- Weisbach ( $h_{FD}$ ) mediante la ecuación 42 obteniendo un valor de 3.152 mcl, mediante la ecuación 43 se determinó la pérdida menor ( $h_M$ ) obteniendo un valor de 0.51 mcl, obteniendo mediante la ecuación 29.3 las pérdidas de carga total ( $h_{TT}$ ) de 3.657 mcl. Ya obtenido los datos anteriores, se determinó mediante la ecuación 44 la cabeza de la

bomba ( $h_B$ ) que es de 6.357 y, por ende, mediante la ecuación 45 se determinó la potencia de la bomba de agua ( $P_b$ ) que es de ½ hp.

$$\mathcal{F} = \frac{64}{Re} \quad (41)$$

$$h_{FD} = \mathcal{F} \times \frac{L_T \times V_{LT}^2}{2 \times D_t \times g} \quad (42)$$

$$h_M = \frac{2.8 \times V_{LT}^{1.85}}{2 \times g} \quad (43)$$

$$h_{TT} = h_{FD} + h_M$$

$$h_B = Z_{1-2} + \frac{V_{LT}^2}{2 \times g} + h_{TT} \quad (44)$$

$$P_b = \frac{Q_L \times \rho_L \times h_B \times g}{746 \times E_b} \quad (45)$$

#### 2.2.4. Volumen del agua de trabajo del sistema

A través de la ecuación 46 se determinó el tiempo que demora en llegar el agua del sedimentador al dispersor (tS-D) obteniendo el valor de 2.02 segundo, así mismo, mediante la ecuación 47 de determinó el tiempo que demora en llegar el agua del dispersor al sedimentador (tD-S) obteniendo un valor de 598.1 segundos.

$$t_{S-D} = \frac{L_T}{V_{LT}} \quad (46)$$

$$t_{D-S} = \frac{H_C}{V_{LD}} \quad (47)$$

Determinado estos valores se determinó el volumen de agua en la tubería ( $V_{aT}$ ) mediante la ecuación 48 obteniendo un valor de 0.00002 m<sup>3</sup>, mediante la ecuación 49 se determinó el volumen extra del sistema hidrociclón ( $V_{ET}$ ), obteniendo un valor de 0.00022 m<sup>3</sup>.

$$V_{aT} = \frac{Q_L}{t_{S-D}} \quad (48)$$

$$V_{ET} = V_{aT} + V_{aC} \quad (49)$$

Establecidas los valores anteriores, se determinó los volúmenes respectivos del sedimentador, en este caso, mediante la ecuación 50 se determinó el volumen del sedimentador trampa de grasas ( $V_{STG}$ ) obteniendo un valor de 0.612 m<sup>3</sup>, con la ecuación 51 se determinó el volumen vacío del sedimentador trampa de grasas ( $V_{VTR}$ ) obteniendo un valor de 0.031 m<sup>3</sup>, mediante la ecuación 52 se determinó el volumen del prisma de caja uno ( $V_{PC1}$ ) obteniendo un valor de 0.0238 m<sup>3</sup>, con la ecuación 53 se determinó el volumen del prisma de caja dos ( $V_{PV2}$ ) obteniendo un valor de 137 m<sup>3</sup>. Finalmente, mediante la ecuación 54 se determinó el volumen total de agua de trabajo ( $V_{TAS}$ ) que se obtuvo

un valor de 743 litros de agua en que permitirá disminuir las concentraciones de material particulado generados por los establecimientos que trabajan con hornos de combustión a base de carbón vegetal.

$$V_{STG} = B_S \times L_S \times H_S \quad (50)$$

$$V_{VTG} = V_{STG} \times 0.05 \quad (51)$$

$$V_{PC1} = \frac{h_L \times B_S \times L_1}{3} \quad (52)$$

$$V_{PC2} = \frac{(h_L + h_3) \times 4 \times L_d}{3} \quad (53)$$

$$V_{TAS} = V_{STG} - V_{VTG} + V_{PC1} + V_{PC2} \quad (54)$$

### 2.2.5. Mantenimiento del sistema

El mantenimiento del sistema hidrociclón está constituida por el volumen de lodo acumulado en la zona de lodos, para ello se determinó el volumen total del lodo acumulado ( $V_{TRL}$ ) mediante la ecuación 55 obteniendo un valor de 0.1608 m<sup>3</sup>.

$$V_{TRL} = V_{PC1} + V_{PC2} \quad (55)$$

Conocido el  $V_{TRL}$ , mediante la ecuación 56 se determina el volumen del lodo recolectado ( $V_{LR}$ ) durante las pruebas realizadas en el proceso de monitoreo, obteniendo un valor de 0.00000000008323 m<sup>3</sup>. Teniendo como datos la masa del material particulado recolectado en el sistema ( $m_{PM}$ ) de 0.0001082 gramos y una densidad de partícula ( $\rho_{MP}$ ) de 1300000 g/m<sup>3</sup>. Así mismo, mediante la ecuación 57 se determinó las veces de tiempos que son recolectados esa cantidad de material particulado en el sistema ( $T_{rS}$ ), obteniendo un valor de 16 por día, considerando que el tiempo de trabajo de la pollería ( $T_{tP}$ ) es 28800 segundos y el tiempo de monitoreo realizado ( $T_m$ ) fue de 1800 segundos.

$$V_{LR} = \frac{m_{PM}}{\rho_{MP}} \quad (56)$$

$$T_{rS} = \frac{T_{tP}}{T_m} \quad (57)$$

Por medio de la ecuación 58 se determinó el caudal del lodo generado ( $Q_{LG}$ ) obteniendo un valor de 0.0001013 m<sup>3</sup>/día, contando con dichos parámetros se obtuvo el tiempo en que el sistema hidrociclón recolectara todo el volumen del lodo atrapado en el sedimentador ( $t_M$ ), de los cuales se obtuvo utilizando la ecuación 59 dando como resultado de 1587 días de los cuales el sistema acumulara el tope del material sedimentado hasta 4 años máximo.

$$Q_{LG} = \frac{V_{LR}}{T_{rS}} \quad (58)$$

$$t_M = \frac{V_{TRL}}{Q_{LG}} \quad (59)$$

### 2.2.6. Porcentaje de disminución del material particulado

Porcentaje de disminución del material particulado (EF: %) está establecida bajo las condiciones de los parámetros de la concentración final del material particulado ( $C_S$ ) después de la aplicación del sistema y la concentración inicial del material particulado ( $C_E$ ) antes de la aplicación del sistema, se utiliza la siguiente formula que se determinó de las investigaciones establecidas por [27,1,9].

$$E_F = \left(1 - \frac{C_S}{C_E}\right) \times 100 \quad (60)$$

### 2.3. Material de construcción del sistema hidrociclón

Teniendo en cuenta las características en que el sistema está expuesta como: grasa, viscosidad, materia orgánica, temperaturas elevadas, pH inestables, solidos, gases de combustión; y según investigaciones realizadas establecidas por [7], se utilizó como material de construcción el acero inoxidable con un espesor de 3 milímetros resistentes a estos contaminantes a que el sistema estará expuesto.

### 2.4. Construcción del hidrociclón

El sistema hidrociclón fue construido de material acero inoxidable tanto el sedimentador trampa de grasas y el ciclón, el sistema hídrico y su circulación esta suministrado por manguera de alta resistencia al calor y otros productos que se trabajó al momento de tratar el contaminante generado por la fuente estacionaria (Chimenea de pollería). Para el suministro del agua en que se trabajó, se utilizó como mecanismo de impulsión una bomba de agua.

### 2.5. Ubicación del sistema hidrociclón en la fuente contaminante

La ubicación del sistema hidrociclón, dependió de la forma arquitectónica de la chimenea de la pollería; de acuerdo con el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, en su Norma A. 070 del diseño de restaurantes y la Norma EM.060 de chimeneas y hogares especificadas en su D.S. N° 011-2006- Vivienda [11], determinan las construcciones y ubicaciones de estos dispositivos, de lo cual son de forma prisma cuadrangular y cilíndricas, y presentan una altura de la chimenea sobresaliente a la parte superficial de la edificación del lugar.

En la figura 2 se muestra la ubicación del sistema teniendo en cuenta que la edificación del techo de la pollería es de concreto armado (techo aligerado) y la chimenea está a una altura superior, de los cuales se

utilizó un adaptador chimenea- hidrociclón para incluir el sistema a una altura de la entrada del contaminante al sistema hidrociclón (Y: m) y una distancia entre el sistema hidrociclón con la chimenea de la pollería (X: m), además, se considerará el caudal de gas de combustión en que se trabajó para determinar la eficiencia del sistema.

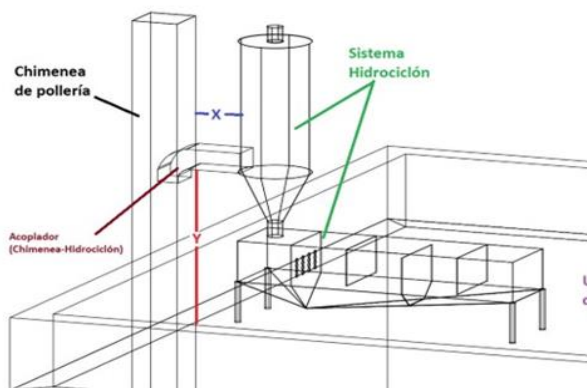


Figura 1. Ubicación del sistema hidrociclón en la chimenea

Fuente. Elaborado por los autores

## 2.6. Puntos de monitoreo

Se realizó los respectivos monitoreos durante la actividad más frecuente y concurrente que tenga la pollería mencionada; se conllevó una medición de dos puntos de monitoreo, antes y durante la implementación del hidrociclón.

Para ello se cuenta con una norma internacional en las que se prosigue para realizar monitoreos a fuentes fijas para el parámetro de material particulado, de acuerdo con [9], quienes utilizaron la guía internacional de USEPA e-CFR establecidas en la EPA de 1971 prosiguieron los pasos para determinar las concentraciones de material particulado.

Para realizar el monitoreo respectivo, se requerirá los servicios técnicos de una consultora certificada por las entidades competentes de nuestro país, quienes fue basado para su determinación promedio de material particulado siguiendo los cálculos especificados en los protocolos establecidos por la EPA AP-42.

## 2.7. Principio de funcionamiento

El material particulado junto a otros gases, circularán por la parte inferior del sistema hidrociclón, donde impactaran con una nube de agua que se dispersan por medio de una presión ideal generada por una hidrobomba, y el agua actuó con el material particulado formando una fase liquido-sólido que por diferencia de masas y en presencia de un ciclón el cual actuó con una fuerza centrípeta permitiendo su descenso para ser almacenado y separado en un sedimentador de 5 compartimientos al estilo de trampa de grasa. En el sedimentador separó el material particulado en forma de lodo y el agua tratada fue recirculada por la hidrobomba que alimentó a los dispersores y nuevamente proseguir el mismo funcionamiento.

La difusión del agua para reaccionar con el material particulado presentará un comportamiento Browniano. Lo que ocurre por impactación cuando las partículas de mayor tamaño no pueden seguir las líneas de corriente en el que se desplazan los contaminantes y se desvían debido a la inercia alrededor de una gota, finalmente golpeando en la gota y adhiriéndose a ella, generando inestabilidad en el material particulado que ganaría masa el cual precipitaría por gravedad para formar el lodo; la tasa de impactación depende del diámetro de la partícula y la velocidad relativa entre la gota y la partícula.

## 2.8. Análisis estadístico

Al enmarcare como una metodología de investigación que se pretende experimentar sistemas que traten y disminuir los problemas ambientales, se utilizó el software Excel del office 2019 y SPSS versión 24.0 para el procedimiento estadístico en las que se realizaron en el Excel las diferencias de los resultados antes y después de los monitoreos para posterior encontrar la normalidad de los datos en las que nos permitió decidir utilizar la prueba T Student para muestras relacionadas [24].

## 3. Resultados

### 3.1. Construcción del sistema hidrociclón

En la construcción del sistema hidrociclón, se utilizaron las funciones geométricas establecidas en la parte metodología mencionada anteriormente, que nos permitió dimensionar las medidas del ciclón, diseños del sistema hídrico, diseño de los dispersores de agua, diseño del sedimentador- trampa de grasas, volumen de agua de trabajo, mantenimiento del sistema y eficiencia de disminución del material particulado. Al utilizar estas funciones geométricas nos permitieron el dimensionamiento del sistema como se muestra en la figura 2, 3, 4 y 5.

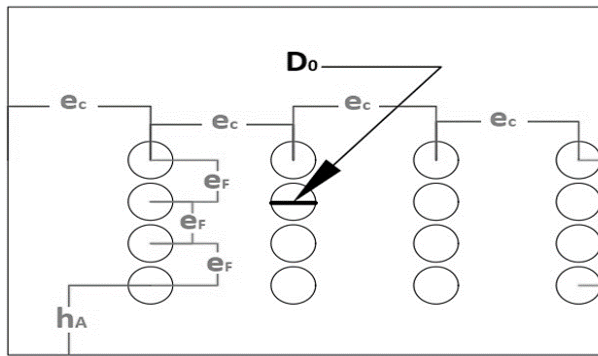


Figura 2. Diseño de la pantalla difusora del sedimentador  
Fuente. Elaborado por los autores

Fuente. Elaborado por los autores

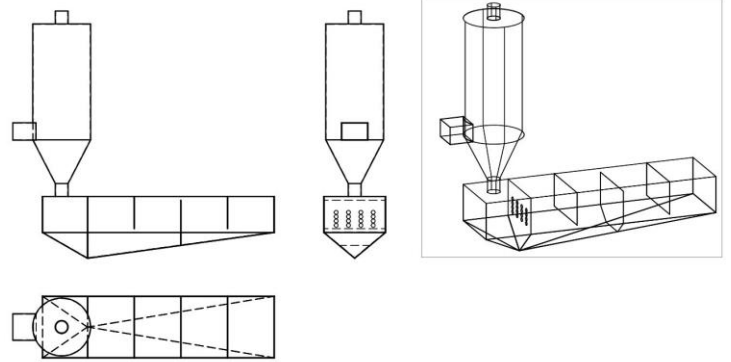


Figura 5. Vistas del sistema hidrociclón  
Fuente. Elaborado por los autores

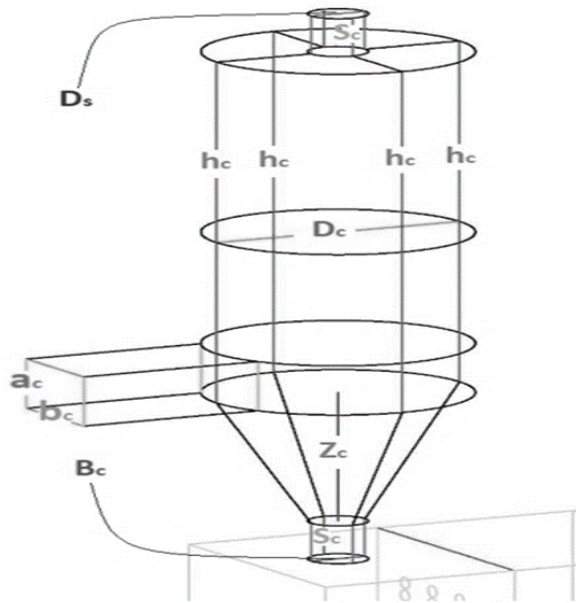


Figura 3. Diseño del ciclón  
Fuente. Elaborado por los autores

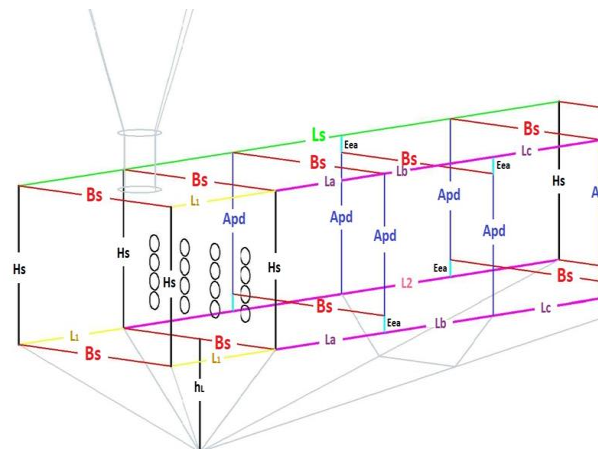


Figura 4. Diseño del sedimentador trampa de grasas

### 3.2. Monitoreos

Los resultados obtenidos al realizar los monitoreos de fuentes de área se presentan en la siguiente tabla, obteniendo tres monitores antes de ser utilizado en sistema hidrociclón (tabla 1) y tres monitoreos después de ser utilizado el sistema (tabla 2). El punto de monitoreo tiene como coordenadas UTM: 0349585 E y 9282892 N.

Tabla 1.  
Resultados del monitoreo antes de aplicar el sistema hidrociclón.

Puntos	Coordenadas		Lugar de monitoreo	MP (mg/m <sup>3</sup> )
	E	N		
M-22-28411	0349585	9282892	Antes del sistema Hidrociclón	0.1375
M-22-28412			0.2116	
M-22-28413			0.2751	

Fuente. Elaborado por los autores

Tabla 2.  
Resultados del monitoreo después de aplicar el sistema hidrociclón

Puntos	Coordenadas		Lugar de monitoreo	MP (mg/m <sup>3</sup> )
	E	N		
M-22-28414	0349585	9282892	Después del sistema Hidrociclón	0.1192
M-22-28415			0.1017	
M-22-28416			0.0786	

Fuente. Elaborado por los autores

### 3.3. Análisis estadístico

Al realizar los respectivos análisis se procedió a determinar la normalidad, en este caso se determinó que los datos presentan existencia de normalidad presentando superioridades del nivel de significancia al 5%, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 3.  
Prueba de normalidad

Variables	Sig. Shapiro-Wilk	Nivel de significancia al 5%
Antes sistema Hidrociclón	0.915	0.05
Después sistema Hidrociclón	0.848	0.05

Fuente. Elaborado por los autores

Por lo que se utilizó la prueba T Student para muestras relacionadas, en las que se asumió como prueba hipotética de que la concentración inicial debe ser mayor a la concentración final para determinar que el sistema hidrociclón presente eficiencia al disminuir la concentración de material particulado, disminuyendo un porcentaje aceptable de la concentración que genera la chimenea de la pollería. En la tabla 4 se presenta el análisis obtenido.

Tabla 4.  
Prueba T Student

Criterio	Código	Valor
Media	$\bar{d}$	0.10823
Desviación estándar muestral	Sd	0.08911
Grados de libertad	gl	2
Nivel de significancia	$\alpha$	0.05
Estadístico de prueba	t	2.104
p- Valor	Sig. (bilateral)	0.170

Fuente. Elaborado por los autores

### 3.4. Porcentaje de disminución del contaminante

En la determinación del porcentaje de disminución que se obtuvo al utilizar el sistema hidrociclón en la fuente contaminante chimenea de pollería, se utilizó la ecuación de porcentaje de disminución del material particulado (EF), en las que se procedió a obtener por cada punto monitoreado el nivel de disminución. Como se muestra en la siguiente tabla 5.

Tabla 5.  
Porcentaje de disminución del sistema hidrociclón

Análisis	Puntos		% de Disminución
	Antes	Después	
1	0.1375	0.1192	13.31
2	0.2116	0.1017	51.94
3	0.2751	0.0786	71.43
Promedio	0.2081	0.0998	52.02

Fuente. Elaborado por los autores.

## 4. Discusiones

Se diseñó el sistema hidrociclón para poder disminuir las concentraciones que generan las fuentes contaminantes que utilizan como medio de trabajo los hornos de combustión. Este sistema fue construido bajo el principio de los ciclones, sedimentador, trampa de grasa, sistema de bombeo y dispersores de agua, ya que su función principal es el atrapamiento del material particulado mediante la dispersión de finas gotas de agua, permitiendo una eficiencia ideal de tratamiento, según [10] menciona que el tratamiento por estos sistemas son los más eficientes e ideales para disminuir las concentraciones que generan en el proceso de

combustión de biomasa. Así mismo, tienen a trabajar bajo el principio de los ciclones, incluyendo sistemas de agua en que atrapan las partículas más pequeñas de material particulado; su mecanismo metodológico según [29], es conocido como difusión/ impactación, que consiste en pulverizar micro gotas de agua, que impactarán con el material particulado atrapándolas y produciendo reacciones fisicoquímicas.

En su análisis estadístico, se procedió en la determinación de la diferencia significativa que se obtuvo al monitorear un antes y después del tratamiento utilizando el sistema hidrociclón, para ello fue indispensable utilizar equipos de monitoreo sofisticados para obtener resultados exactos, así como lo menciona [30], implica la utilidad de sistemas que tengan márgenes de errores mínimas para obtener una medición eficiente y estas concentraciones según [14] las clasifican según el tamaño de partícula, actualmente están estandarizadas en PM<sub>1.0</sub>, PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub>. La concentración inicial fue mayor a la concentración final, comprobando que si hubo una disminución del tratamiento utilizando el sistema hidrociclón.

Finalmente, se obtuvo una disminución del material particulado que genera la chimenea de pollería en la primera medición se obtuvo una eficiencia del 13.31%, en la segunda medición la eficiencia fue del 51.94 % y en la tercera medición se obtuvo una eficiencia del 71.43 % dando lugar a un promedio del 52 % en los 3 monitoreos medidos antes y los tres monitoreos medidos después de utilizar el sistema. Comparando con otros sistemas más sofisticados que trabajan bajo ciclones en modo seco según [25] tuvieron concentraciones de disminución de material particulado del 98 al 99 %, según [20] en su construcción de un ciclón determinó una eficiencia del 67% al tratar partículas de 15,2 um, según [21] modificó el ciclón mediante un modelo que cuenta con un diámetro crítico en las que se obtuvo una mejora del 32.5%, según [5] tuvieron porcentajes de disminución del 71.9 al 100 % según tamaño de partículas, según [14] utilizando los ciclones redujo las concentraciones en un 70 al 90 %, según [20] redujo las concentraciones en un 67 %, según [19] redujo al 97.85 %, según [14], en su depurador húmedo aplicados a una planta de carbono tuvo una disminución del 96.81 al 95.59 %. Según [1] redujo utilizando boquillas de atomización de líquido para mayor eficiencia de atrapamiento obteniendo una eficiencia del 81 al 98.44%.

## 5. Conclusiones

Se concluye que el sistema hidrociclón es apto para disminuir las concentraciones de material particulado al utilizar un atomizador de nube de agua, trabajando a un caudal de dispersión de 0.00001 m<sup>3</sup>/s que puede disminuir un promedio del 52% de la concentración del contaminante, corroborando esta eficiencia y

conclusión con [1,13], que el ciclón húmedo o hidrociclón, demuestra ser una tecnología prometedora para eliminar el material particulado de la corriente gaseosa.

En comparación con las investigaciones prescritas según los autores, se puede encontrar que los dispositivos utilizados como ventilador, compresora, álabes de remolino, impulsor de mezcla radial, rejillas de deshidratación y más tipos de boquillas atomizadoras, son de gran importancia para mejorar la eficiencia del sistema para una mayor disminución del contaminante.

Finalmente, al utilizar pulverizadores de agua con menor tamaño de la gota de agua que el material particulado, puede atrapar con más eficiencia al material particulado con menos diámetro del contaminante.

## Referencias bibliográficas

- [1] Achilles, A. E. (2018). Avaliação experimental de um ciclone adaptado com bocais pulverizadores de água [Universidad Federal de São Carlos]. [https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/9770/ACHILES\\_AnaElisa\\_2018.pdf?sequence=5](https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/9770/ACHILES_AnaElisa_2018.pdf?sequence=5)
- [2] Agencia de Protección Ambiental (EPA). (2019). Purificadores de aire. [https://espanol.epa.gov/sites/default/files/2021-05/documents/spanish\\_-\\_residential\\_air\\_cleaners.pdf?VersionId=3x9nM5h\\_U1LSykXuNKQH5wmNs9p8vkSx](https://espanol.epa.gov/sites/default/files/2021-05/documents/spanish_-_residential_air_cleaners.pdf?VersionId=3x9nM5h_U1LSykXuNKQH5wmNs9p8vkSx)
- [3] Agencia de Protección Ambiental (EPA). (2020a). Aplicación aérea. EPA. <https://www.epa.gov/enforcement/air-enforcement>
- [4] Agencia de Protección Ambiental (EPA). (2020b). Monitoring by control technique: wet scrubber for particulate matter. United States Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/air-emissions-monitoring-knowledge-base/monitoring-control-technique-wet-scrubber-particulate-matter>
- [5] Baltrėnas, P., Crivellini, A., Leonavičienė, T., & Chlebnikovas, A. (2021). Investigation on particulate matter and gas motion processes in the advanced multi-channel cyclone-separator with secondary gas inlets. *Environmental Engineering Research*, 27(1), 1–13. <https://doi.org/10.4491/eer.2020.550>
- [6] Barrantes, M. Á. (2021). Dispersión de material particulado (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>) en Huancayo Metropolitano, región Junín, 2020. Junín: Universidad César Vallejo. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/70050#:~:text=Se%20leg%C3%B3%20a%201>

a%20conclusi%C3%B3n,m%C3%B3viles%20presentes%20en%20la%20ciudad.

- [7] Boateng, D. (2016). Design, construcción and testing of a flue gas filter system for small scale incinerators [Kwame Nkrumah University of Science and Technology]. [http://ir.knust.edu.gh/bitstream/123456789/10162/1/Thesis 3.pdf](http://ir.knust.edu.gh/bitstream/123456789/10162/1/Thesis%203.pdf)
- [8] Cámara Nacional de Turismo del Perú (CANATUR). (2020). 100 mil restaurantes cerraron en el Perú por pandemia. <https://www.usil.edu.pe/noticias/100-mil-restaurantes-cerraron-en-el-peru-la-pandemia>
- [9] Cruz, K. R., López, J. L., & Saldaña, K. A. (2018). Disminución de CO mediante un filtro de monolito de carbón de las emisiones generadas por pollerías del centro histórico de Trujillo. [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20500.12692/32023/cruz\\_lk.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20500.12692/32023/cruz_lk.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [10] Darbandi, T., Risberg, M., & Westerlund, L. (2021). CFD modeling of the forces in the wet scrubber acting on particulate matter released from biomass combustion. *Thermal Science and Engineering Progress*, 25(100997), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2021.100997>
- [11] Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, Pub. L. No. N° 011-2006-Vivienda, Primera Ed Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO) 437 (2006). <http://www3.vivienda.gob.pe/pnc/docs/normatividad/varios/Reglamento Nacional de Edificaciones.pdf>
- [12] Echevarria, M. A. (1986). Diseño de un colector de polvo de mineral de cobre con capacidad de 24 metros cúbicos por segundo. <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/4119>
- [13] Hu, S., Gao, Y., Feng, G., Hu, F., Liu, C., & Li, J. (2021). Experimental study of the dust-removal performance of a wet scrubber. *International Journal of Coal Science and Technology*, 8(2), 228–239. <https://doi.org/10.1007/s40789-021-00410-y>
- [14] Kalia, P., & Ansari, M. A. (2020). IOT based air quality and particulate matter concentration monitoring system. *Materials Today: Proceedings*, 32(xxxx), 468–475. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.179>
- [15] Kanojiya, M. T., Mandavgade, N., Kalbande, V., & Padole, C. (2021). Design and fabrication of cyclone dust collector for industrial Application. *Materials Today: Proceedings*, 2–3. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.254>
- [16] Lizarraga, I. J., Pomalaya, J. E., Suarez, L. F., & Bendezu, Y. (2019). Dispersion of particulate material 2.5 emitted by roasted chicken restaurants using the AERMOD model in Huancayo Metropolitan, Peru. *DYNA*, 346-353. Obtenido de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/78812/73629>
- [17] Ministerio de Comercio Exterior y Turismo (MINCETUR). (2017). Directorio de establecimientos de restaurantes no categorizados. DOCPLAYER. <https://docplayer.es/28184773-Directorio-de-establecimientos-de-restaurantes-no-categorizados-d-s-no-mincetur.html>
- [18] Ministerio del Ambiente (MINAM). (2019). Diagnóstico de la gestión de la calidad ambiental del aire de Lima y Callao. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/diagnostico-gestion-calidad-ambiental-aire-lima-callao>
- [19] Moraes, R. A., Frazao, L. L. P., Purgano, B. V., Silva, M. V., Ferreira, P. M., & D'amelio, M. T. S. (2019). Desenvolvimento e construção de um ciclone para separação de partículas a partir de materiais de baixo custo. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo Do Conhecimento*, 18(3), 16–28. <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-quimica/construcao-de-um-ciclone>
- [20] Nwigbo, M. N. (2019). Design, fabrication and performance evaluation of a cyclone system for saw dust emission control. *International Journal of Engineering and Modern Technology*, 5(1), 19–27. [https://iiardpub.org/get/IJEMT/VOL. 5 NO. 1 2019/Design, Fabrication.pdf](https://iiardpub.org/get/IJEMT/VOL.5%20NO.1%202019/Design,Fabrication.pdf)
- [21] Park, D., & Go, J. S. (2020). Design of cyclone separator critical diameter model based on machine learning and cfd. *Processes*, 8(11), 1–13. <https://doi.org/10.3390/pr8111521>
- [22] Pilay, D. A., & Gavidia, L. F. (2020). Estudio y diseño de un ciclón para el control de partículas para una empresa productora de Libros en la ciudad de Guayaquil. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19120/4/UPS-GT002983.pdf>
- [23] Sierra, M. P., Vargas, C., Bodadilla, K., & Aztatzi, O. G. (2018). Health impact of volcanic emissions. Volcanoes - Geological and Geophysical Setting, Theoretical Aspects and Numerical Modeling, Applications to Industry and Their Impact on the Human Health, 263–284. <https://doi.org/10.5772/intechopen.73283>

- [24] Sucasaire, J. (2021). Estadística descriptiva para trabajos de investigación. In J. Sucasaire (Ed.), CONCYTEC (1° ed.). Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (CONCYTEC). <https://repositorio.concytec.gob.pe/>
- [25] Torsky, A., Volnenko, A., Plyatsuk, L., Hurets, L., Zhumadullayev, D., & Abzhabparov, A. (2021). Study of dust collection effectiveness in cyclonic-vortex action apparatus. *Technology Audit and Production Reserves*, 1(3(57)), 21–25. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.225328>
- [26] Ushiñahua, L. V., Cortéz, L., & Salas, H. F. (2018). Incidencia del financiamiento en la rentabilidad de la micro y pequeña empresa en el sector turismo- rubro restaurantes, hostales y agencias de viaje en el distrito de Tarapoto, provincia de San Martín, periodo 2014-2016. <http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/2595/ECONOMIA - Luz V. Ushiñahua%2C Lidia Cortez y Hector F. Salas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [27] Vitareli, L. (2020). Sistemas híbridos de filtração e sua aplicação na indústria sucroenergética. <https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/13745/Tcc Letícia 2020.pdf?sequence=1>
- [28] Yabar, C., Aramburú, V., & Tinoco, F. (2020). Iron ore dust control system at the San Nicolás-Marcona benefit concession crushing plant. *Revista Industrial Data*, 23(1), 23–38. <https://doi.org/https://doi.org/10.15381/idata.v23i1.16548>
- [29] Yang, J., Tang, T., Jiang, Y., Karavalakis, G., Durbin, T. D., Wayne Miller, J., Cocker, D. R., & Johnson, K. C. (2021). Controlling emissions from an ocean-going container vessel with a wet scrubber system. *Fuel*, 304(121323), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.121323>
- [30] Zhao, Q., Xiao, Y., Lin, J., Mao, H., Zeng, Z., & Liu, Y. (2021). Measurement-based evaluation of the effect of an over-track-exhaust ventilation system on the particulate matter concentration and size distribution in a subway. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 109(103772), 21–23. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2020.103772>

**Carranza, J.**, es Bachiller de la carrera de Ingeniería Ambiental, egresado de la Universidad Peruana Unión, experiencia en Gestión Ambiental de entidades públicas, actualmente responsable del Área de Gestión Ambiental de la Municipalidad Distrital de San Fernando.

ORCID: 0000-0002-7832-190X

**Huamán, M.E.**, es Bachiller de la carrera de Ingeniería Ambiental, egresado de la Universidad Peruana Unión,

experiencia como Asistente del Área Técnica de Agua y Saneamiento y jefe del área de servicios Públicos de la Municipalidad distrital de Pueblo Nuevo, inspector de aseguramiento de calidad planta en la empresa agro industrial Cerro Prieto, actualmente labora como asistente prevencionista en el Consorcio Ejecutor Porvenir.

ORCID: 0000-0002-5067-5079

**Padilla, B.T.**, es Mtra. En Educación con mención en Investigación y Docencia Universitaria, Ingeniero Ambiental, coordinador de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Peruana Unión-Tarapoto.

ORCID: 0000-0002-3299-820

