

# Diseño y construcción de un separador ciclónico tipo académico

Fonseca, Felipe<sup>1</sup>, Pinto, Fernando<sup>2</sup>, Sánchez, Kevin<sup>3</sup> y Vega, Diana<sup>4</sup>  
Fundación Universitaria de San Gil- UNISANGIL  
Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería, Programa Ingeniería Ambiental  
Yopal, Colombia

luisfonseca@unisangil.edu.co  
fernandopinto@unisangil.edu.co  
kevinsanchez@unisangil.edu.co  
dvega@unisangil.edu.co

Fecha de Recepción: 02 de febrero de 2019  
Fecha de Aceptación: 16 de agosto de 2019

**Resumen** — La intención de diseñar y construir el prototipo, surge de poner en práctica la teoría de las asignaturas relacionadas con el componente aire y dejar un producto de investigación para el laboratorio de la universidad. Una vez construido, el objetivo es utilizarlo como metodología de aprendizaje para afianzar los conocimientos adquiridos en el aula, aprender su funcionamiento, montaje, desmontaje con apoyo de su manual, que se involucren, tengan interacción con el equipo y lo operen sin inconvenientes. La práctica constante del manejo del equipo con apoyo del instructivo, perfecciona la técnica de operación al estudiante y permite la retroalimentación con el grupo de trabajo.

**Palabras clave**— Ciclón, Contaminación, Calidad de Aire, Material particulado, Prototipo.

**Abstract** - The intension of designing and building the prototype arises from putting into practice the theory of subjects related to the air component and leaving a research product for the university laboratory. Once built, the goal is to use it as a learning methodology to strengthen the knowledge acquired in the classroom; also to learn how to function, assemble, disassemble with the support of its manual, get involved, and interact with the team and operate without inconvenient. The constant practice of handling the equipment improve the student's operation technique and provides feedback for the working group.

**Key words** — Cyclone, pollution, air quality, particulate matter, prototype.

## I. INTRODUCCIÓN

El ciclón es esencialmente una cámara de sedimentación en que la aceleración gravitacional se sustituye con la aceleración centrífuga. Los ciclones constituyen uno de los medios menos costosos de recolección de polvo, tanto desde

el punto de vista de operación como de la inversión. Estos son básicamente construcciones simples que no cuentan con partes móviles, lo cual facilita las operaciones de mantenimiento; pueden ser hechos de una amplia gama de materiales y pueden ser diseñados para altas temperaturas. Utilizan la inercia para remover las partículas de la corriente del gas generado por una fuerza centrífuga a la corriente de gas, normalmente en una cámara de forma cónica [1][2][3][4].

## II. METODOLOGÍA

Para comprender el principio, funcionamiento y determinación de variables necesarias que intervienen en los cálculos de diseño del prototipo, se tiene en cuenta el material o tipos de materiales con los que se hacen las pruebas de eficiencia en el prototipo que fueron seleccionados según las industrias más comunes [5][6][7]. Para este caso fue el feldespato, limo y mezcla (cemento, arena y limo), que se les realiza el proceso de tamizado con cada uno para determinar tamaño de la partícula ( $\mu\text{m}$ ) y porcentaje másico, posteriormente hallar la densidad, ya que son datos importantes para determinar la eficiencia teórica y seleccionar el tipo de ciclón según la eficiencia requerida del sistema, también caudal del equipo extractor, diámetro de la partícula y peso específico de la partícula ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ ), todos estos datos se requieren para determinar las variables como; caudal y velocidad, diámetro de entrada, área de ducto de entrada, diámetro del ciclón, altura de entrada del ciclón, ancho de entrada del ciclón, altura de salida del ciclón, diámetro de salida del ciclón, altura parte cilíndrica del

<sup>1,2,3</sup> Ingeniero Ambiental, UNISANGIL Sede Yopal

<sup>4</sup> Ingeniera Sanitaria y Ambiental, Especialista en Sistemas de Gestión Integrado de la Uniboyaca.

ciclón, altura parte cónica, altura total del ciclón, diámetro de salida de las partículas entre otras.

Las principales variables que afectan al sistema son la temperatura de operación, caudal de fluido a tratar, concentración y tipo de partícula (densidad, dureza, nivel de abrasión, entre otros. A su vez estas presentan variables relacionadas como son: la velocidad de entrada al ciclón, velocidad de filtración, velocidad de transporte en las tuberías y de captura en las campanas, entre otras variables.

Las familias que definen la eficiencia del ciclón son: convencionales, de alta eficiencia y alta capacidad con sus características principales de remoción respectivamente [1][2][3][4]. La Tabla 1 muestra que el mejor para PM10 es el de alta eficiencia, el cual se selecciona para iniciar los cálculos necesarios para la elaboración del ciclón en los que se destacan la dimensión, tamaño de la partícula entre otros aspectos que se deben tener en cuenta en un diseño, también se contempla ventajas y desventajas.

TABLA 1. INTERVALO DE EFICIENCIA DE REMOCIÓN PARA LAS DIFERENTES FAMILIAS DE CICLONES [1]

| Familia de ciclones | Eficiencia de remoción (%) |         |         |
|---------------------|----------------------------|---------|---------|
|                     | PST                        | PM10    | PM2.5   |
| Convencionales      | 70 - 90                    | 30 - 90 | 0 - 40  |
| Alta eficiencia     | 80 - 99                    | 60 - 95 | 20 - 70 |
| Alta capacidad      | 80 - 99                    | 10 - 40 | 0 - 10  |

Los ciclones de alta eficiencia están diseñados para alcanzar mayor remoción de las partículas pequeñas que los ciclones convencionales [1], (pueden remover partículas de 5 µm). Este tipo de ciclón se ha escogido ya que el 34,5% del tamaño de diámetro de las partículas, está por debajo de los 60 µm y el 45% de las partículas está por debajo de los 10 µm, adicional a esto es un ciclón de alta eficiencia y con baja caída de presión (Tablas 2 y 3) [2].

TABLA 2. VALORES DE REFERENCIA STAIRMAND [2]

|                            |       |        |
|----------------------------|-------|--------|
| Diámetro del ciclón        | Dc/Dc | 1.0    |
| Altura de entrada          | a/DC  | 0.5    |
| Ancho de entrada           | b/Dc  | 0.2    |
| Altura de salida           | S/Dc  | 0.5    |
| Diámetro de salida         | Ds/Dc | 0.5    |
| Altura parte cilíndrica    | h/Dc  | 1.5    |
| Altura parte cónica        | z/Dc  | 2.5    |
| Altura total del ciclón    | H/Dc  | 4.0    |
| Diámetro salida partículas | B/Dc  | 0.375  |
| Factor de configuración    | G     | 551.22 |
| Num. Cabezas de velocidad  | Nh    | 6.4    |
| Número de vórtices         | N     | 5.5    |

TABLA 3. PARÁMETROS DE DISEÑO [2]

| Parámetros                      | Valor           |
|---------------------------------|-----------------|
| Diámetro del ciclón (Dc)        | < 1.0 m         |
| Caída de presión                | < 2488.16 Pa    |
| Relación de velocidades (Vi/Vs) | < 1.35          |
| Velocidad de entrada            | 15.2 - 27.4 m/s |

Con la selección previa de la familia del ciclón se inicia su dimensionamiento, y se dan valores a la nomenclatura de la Figura 1, siguiendo los pasos de Bahamondes [2].

A. Memorias de cálculo

- Diámetro del extractor de tipo industrial

$$12'' = 0,3048m$$

$$Q = 0,7 m^3s$$

- Área del extractor

$$A = \pi(0,3048m)^2/4 = 0,07296m^2$$

- Velocidad de entrada para el ciclón

$$V = Q/A$$

$$V = 0,7 m^3/s / 0,07296m^2 = 9,59 m/s$$

$$Area = 0,07296m^2/2,3 = 0,031721 m^2$$

$$V = 0,7 m^3/s / 0,031721m^2 = 22,06m/s$$

- Diámetro del ciclón

$$Dc = \sqrt{0,031721m^2 / 0,5 * 0,2} = 0,5632 m$$

- Altura entrada ciclón:

$$a = (0,5) * (Dc) \quad a = (0,5) * (0,5632m) = 0,28m$$

- Ancho entrada ciclón

$$b = (0,2) * (0,5632 m) = 0,11m$$

- Altura salida de ciclón

$$s = (0,5) * (0,5632 m) = 0,28m$$

- Diámetro salido del ciclón

$$Ds = (0,5) * (0,5632 m) = 0,28m$$

- Altura parte cilíndrica del ciclón

$$h = (1,5) * (Dc) \quad h = (1,5) * (0,5632 m) = 0,84m$$

Altura total del ciclón

$$H = (4,0) * (Dc) \quad H = (4,0) * (0,5632 m) = 2,25m$$

- Altura parte cónica

$$Z = (2,5) * (Dc) \quad Z = (2,5) * (0,5632 m) = 1,40 m$$

- Diámetro de salida de las partículas

$$B=(0,375)*(Dc) \quad B=(0,375)*(0,5632 \text{ m})=0,21$$

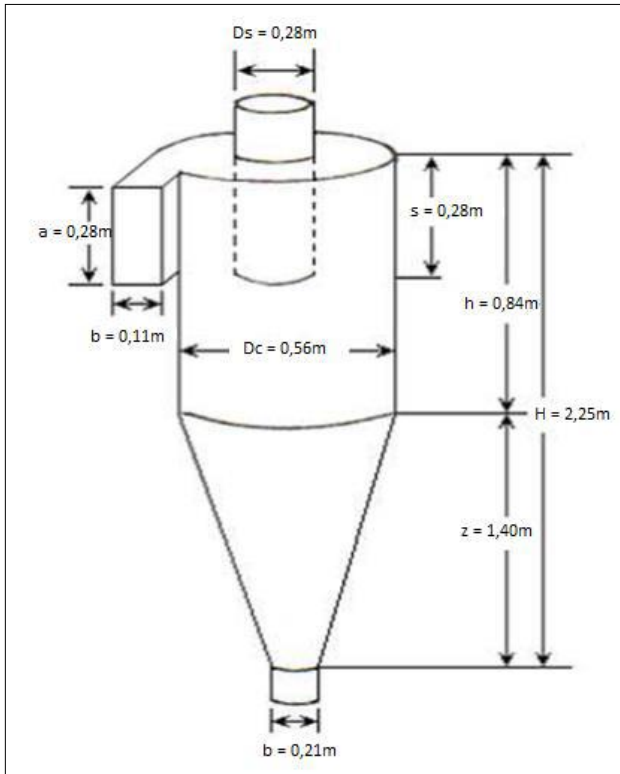


Fig. 1 Dimensionamiento del ciclón.

### B. Construcción

Al dimensionar el equipo se buscan los posibles distribuidores del mercado de láminas de acero y se selecciona el personal capacitado para el corte y ensamble del equipo.

En las figuras 1 a 6 se presentan los diferentes cortes y ensambles del equipo.



Fig. 2 Corte y doblaje ducto salida.



Fig. 3 Corte y doblaje entrada gas.



Fig. 4 Unión entrada ciclón.



Fig. 5 Ensamble final ciclón.



Fig. 6 Materiales (Limo, Feldespato y mezcla).

### III. PRUEBAS

Para verificar la eficiencia del prototipo se realizan pruebas en el laboratorio con los diferentes materiales, limo feldespato y mezcla; antes de dar inicio a la operación se hace tamizaje con cada uno de los materiales para determinar tamaño de la partícula y porcentaje másico (Figura 7), posteriormente se halla la densidad, datos importantes para determinar la eficiencia teórica.



Fig. 7 Tamizaje material.

Las pruebas se llevan a cabo con ángulos de 90° y 30° para verificar cual es más eficiente en la remoción de partículas del material establecido. Al dar inicio a las pruebas con el ángulo de 90°, se observó por el ducto de salida del equipo que el material colisionaba y no daba la forma circular para iniciar el proceso debido a la velocidad del gas y por esto gran cantidad del material sedimentaba en la tova. Se realizaron pruebas con varios ángulos en donde el seleccionado fue el de 30° por el comportamiento de las partículas a lo largo del ducto, Figura 8.



Fig. 8. Prueba ciclón Angulo de 90°.

Usando el método de gravimetría por diferencia de peso de los materiales de los 2 kg de cada uno, se determina la eficiencia práctica del prototipo [1][2][4]; esta consiste en medir la diferencia de peso del material particulado que entra al ciclón y el material sedimentado en la tolva, siendo los 2 kg, el 100% y con esta base se determinan los porcentajes de remoción del feldespato, limo y mezcla [8][9].



Fig. 9. Prueba ciclón Angulo de 30°.

A continuación, se presentan los resultados de pruebas con Feldespato ángulo de 90° y 30° (Tabla 4, Tabla 5), Limo ángulo de 90° y 30° (Tabla 6, Tabla 7), mezcla ángulo de 90° y 30° (Tabla 8, Tabla 9).

- Pruebas con Feldespato ángulo 90°

TABLA 4. RESULTADOS PRUEBAS FELDESPATO 90°

| PESO DEL MATERIAL (gr) | PRUEBA   | MATERIAL SEDIMENTADO (gr) | MATERIAL EMITIDO A LA ATMOSFERA (gr) | EFICIENCIA DE REMOCIÓN (%) |
|------------------------|----------|---------------------------|--------------------------------------|----------------------------|
| 2000 gr                | Prueba 1 | 1200                      | 800                                  | 60                         |
| 2000 gr                | Prueba 2 | 1100                      | 900                                  | 55                         |
| 2000 gr                | Prueba 3 | 1145                      | 855                                  | 57,25                      |
| <b>Promedio</b>        |          | 1148,333                  | 851,667                              | 57,417                     |

- Pruebas con feldespato ángulo de 30°

TABLA 5. RESULTADOS PRUEBAS FELDESPATO 30°

| PESO DEL MATERIAL (gr) | PRUEBA   | MATERIAL SEDIMENTADO (gr) | MATERIAL EMITIDO A LA ATMOSFERA (gr) | EFICIENCIA DE REMOCIÓN (%) |
|------------------------|----------|---------------------------|--------------------------------------|----------------------------|
| 2000 gr                | Prueba 1 | 1100                      | 900                                  | 55                         |
| 2000 gr                | Prueba 2 | 1400                      | 600                                  | 70                         |
| 2000 gr                | Prueba 3 | 1250                      | 750                                  | 62,5                       |
| <b>Promedio</b>        |          | 1250                      | 750                                  | 62,5                       |

- Pruebas con Limo ángulo de 90°

TABLA 6. RESULTADOS PRUEBAS LIMO 90°

| PESO DEL MATERIAL (gr) | PRUEBA   | MATERIAL SEDIMENTADO (gr) | MATERIAL EMITIDO A LA ATMOSFERA (gr) | EFICIENCIA DE REMOCIÓN (%) |
|------------------------|----------|---------------------------|--------------------------------------|----------------------------|
| 2000 gr                | Prueba 1 | 1700                      | 300                                  | 85                         |
| 2000 gr                | Prueba 2 | 1800                      | 200                                  | 90                         |
| 2000 gr                | Prueba 3 | 1900                      | 100                                  | 95                         |
| <b>Promedio</b>        |          | 1800                      | 200                                  | 90                         |

- Pruebas con Limo ángulo de 30°

TABLA 7. RESULTADOS PRUEBAS LIMO 30°

| PESO DEL MATERIAL (gr) | PRUEBA   | MATERIAL SEDIMENTADO (gr) | MATERIAL EMITIDO A LA ATMOSFERA (gr) | EFICIENCIA DE REMOCIÓN (%) |
|------------------------|----------|---------------------------|--------------------------------------|----------------------------|
| 2000 gr                | Prueba 1 | 1950                      | 50                                   | 97,5                       |
| 2000 gr                | Prueba 2 | 1950                      | 50                                   | 97,5                       |
| 2000 gr                | Prueba 3 | 1925                      | 75                                   | 90                         |
| <b>Promedio</b>        |          | 1941,67                   | 58,33                                | 97.08                      |

- Pruebas con mezcla ángulo de 90°

TABLA 8. RESULTADOS PRUEBAS MEZCLA 90°

| PESO DEL MATERIAL (gr) | PRUEBA   | MATERIAL SEDIMENTADO (gr) | MATERIAL EMITIDO A LA ATMOSFERA (gr) | EFICIENCIA DE REMOCIÓN (%) |
|------------------------|----------|---------------------------|--------------------------------------|----------------------------|
| 2000 gr                | Prueba 1 | 1400                      | 600                                  | 70                         |
| 2000 gr                | Prueba 2 | 1000                      | 1000                                 | 50                         |
| 2000 gr                | Prueba 3 | 1300                      | 700                                  | 65                         |
| <b>Promedio</b>        |          | 1233,3                    | 766,6                                | 61,67                      |

- Pruebas con mezcla ángulo de 30°

TABLA 9. RESULTADOS PRUEBAS MEZCLA 30°

| PESO DEL MATERIAL (gr) | PRUEBA   | MATERIAL SEDIMENTADO (gr) | MATERIAL EMITIDO A LA ATMOSFERA (gr) | EFICIENCIA DE REMOCIÓN (%) |
|------------------------|----------|---------------------------|--------------------------------------|----------------------------|
| 2000 gr                | Prueba 1 | 1400                      | 600                                  | 70                         |
| 2000 gr                | Prueba 2 | 1600                      | 400                                  | 80                         |
| 2000 gr                | Prueba 3 | 1500                      | 500                                  | 75                         |
| <b>Promedio</b>        |          | 1500                      | 500                                  | 75                         |

IV. RESULTADOS

Con los resultados, se puede observar claramente como con cada material se presenta una eficiencia más alta cuando se lleva a cabo la prueba con el ángulo de 30°, la inclinación del mismo, provee un mejor comportamiento para el material que se encuentra en el ducto de entrada al ciclón, logrando una reducción de energía en la entrada del mismo en el equipo cuando se presentan choques de las partículas con las paredes de la pieza angular y así mismo, también mejorando su sedimentación para ser recopilado en la tolva.

En las Tablas 10, 11 y 12 se presentan las comparaciones de eficiencia de feldespatos, limo y mezcla con los ángulos de 90° y 30°. En la Figura 10 se presenta un gráfico comparativo de remoción por material.

TABLA 10. COMPARACIÓN DE EFICIENCIA FELDESPATO

| Prueba eficiencia | Feldespatos               |                           |
|-------------------|---------------------------|---------------------------|
|                   | Ángulo 90° eficiencia (%) | Ángulo eficiencia 30° (%) |
| 1                 | 60                        | 55                        |
| 2                 | 55                        | 70                        |
| 3                 | 57,25                     | 62,5                      |

TABLA 11. COMPARACIÓN DE EFICIENCIA LIMO

| Prueba eficiencia | Limo       |            |
|-------------------|------------|------------|
|                   | Ángulo 90° | Ángulo 30° |
| 1                 | 85         | 97,5       |
| 2                 | 90         | 97,5       |
| 3                 | 95         | 96,25      |

TABLA 12. COMPARACIÓN DE EFICIENCIA MEZCLA

| Prueba eficiencia | Mezcla                    |                           |
|-------------------|---------------------------|---------------------------|
|                   | Ángulo eficiencia 30° (%) | Ángulo 90° eficiencia (%) |
| 1                 | 70                        | 70                        |
| 2                 | 50                        | 80                        |
| 3                 | 65                        | 75                        |

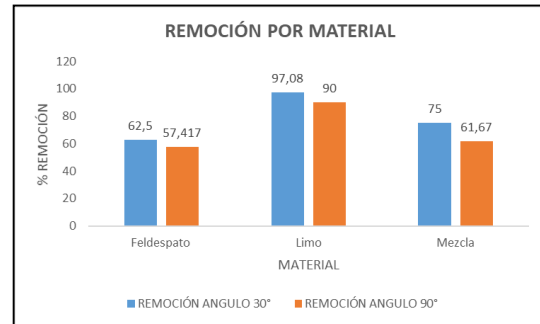


Fig. 10 Gráfico comparativo.

V. CONCLUSIONES

De acuerdo a la consulta bibliográfica, fue necesario implementar un equipo mecánico de tipo extractor para garantizar un caudal y una velocidad constante para cumplir los parámetros de diseño, así de esta manera se realizaron los cálculos y dimensionamiento del prototipo.

Se requirió personal capacitado en elaboración y manejo de estructuras pesadas y dobladoras en donde recomiendan que la lámina calibre 22 de acero galvanizado es un material resistente a la soldadura y a la corrosión de los materiales, fácil de moldear y económica.

Se realizaron pruebas con dos ángulos de 90° y de 30° para observar que ángulo brinda una mayor eficiencia, al realizar las pruebas se obtuvo resultados más eficientes con el ángulo de 30°, ya que al momento de subir el caudal del gas se encontró con la parte superior del ciclón, de tal manera que este empezó a perder energía y las partículas empezaron a sedimentarse con mayor facilidad, logrando una mayor eficiencia de remoción.

En el momento de realizar las pruebas se observó que la longitud del ducto de entrada era muy extensa (2,20m) y debido a esto se presentaban pérdidas en la velocidad del gas, por tal motivo se decide realizar un corte en la longitud del ducto, el cual quedo con una nueva longitud de 1,20m idónea para llevar a cabo las pruebas.

Con los resultados obtenidos la eficiencia de remoción con un promedio de 90% con el ángulo de 90°, con el ángulo de 30° presenta un promedio de 97,083% debido a que este material cuenta con un mayor peso en sus partículas lo cual

facilita el proceso de sedimentación dentro del ciclón, por lo que el prototipo se deja fijo con el ángulo de 30°.

Se diseñó y construyó el prototipo didáctico con principio de ciclón, el equipo actualmente realiza mediciones de material particulado que van de 10 a 250 micras, se dona como material de apoyo en el laboratorio de calidad de aire de UNISANGIL.

Inicialmente se planteó utilizar la cascarilla de arroz como posible material para realizar las pruebas de eficiencia, pero no fue posible debido a que la partícula es muy voluminosa y cuenta con un bajo peso, esto impedía su entrada al ducto y de esta manera la partícula era devuelta por el orificio de dosificación.

#### REFERENCIAS

- [1] C.A. Echeverri Londoño. “Diseño óptimo de ciclones” *Rev. ing. univ. Medellín*. vol.5 no.9 Medellín July/Dec. 2006. [Online]. Available: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1692-33242006000200011](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-33242006000200011)
- [2] J. L. Bahamondes Santos. “Diseño y construcción de un separador ciclónico para la industria naval”. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Escuela de Ingeniería Naval. Valdivia – Chile, 2008. [Online]. Available: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2008/bmfcib151d/doc/bmfcib151d.pdf>
- [3] C.A. Arciniégas Suárez. “Diagnóstico y control de material particulado: partículas suspendidas totales y fracción respirable PM10”, *Luna Azul*, vol .34 Manizales /June 2012. [Online]. Available: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1909-24742012000100012](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-24742012000100012)
- [4] C. C. Gutiérrez Torres, J. G. Barbosa Saldaña, J. A. Jiménez Bernal, P. Quinto Diez. “Estudio de los parámetros que afectan la eficiencia de separación de los separadores tipo ciclón”, *Científica* vol. 10 Núm. 2 pp.59-63. México 2006. [Online]. Available: <http://www.redalyc.org/pdf/614/61410203.pdf>
- [5] (2017). Cementos Tequendama. ¿Qué es el cemento y cuál es su composición? [Online]. Available: <http://www.cetesa.com.co/que-es-el-cemento-y-cual-es-su-composicion/>
- [6] (2016). Fibras y Normas de Colombia S.A.S. [Online]. Available: <https://www.fibrasnormasdecolombia.com/terminos-definiciones/caudal-definicion-y-metodos-de-medicion/>
- [7] (2017). Sendekia Ingeniería. Diseño de productos, máquinas, ingeniería e industrialización. [Online]. Available: [sendekia.com/que-es-un-prototipo-y-para-que-sirve/](http://sendekia.com/que-es-un-prototipo-y-para-que-sirve/)
- [8] Secretaría de Economía. Perfil de mercado del Feldespato. (2014). [Online]. Available: [http://www.economia.gob.mx/files/comunidad\\_negocios/industria\\_comercio/informacionSectorial/minero/pm\\_feldespato\\_2014.pdf](http://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/informacionSectorial/minero/pm_feldespato_2014.pdf)
- [9] (2017) Huerta agrícola. [Online]. Available: <http://www.huertagricola.com/2017/07/cascarilla-de-arroz.html>
- [10] *Resolución 601 de 2006 Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Por la cual se establece la Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión, para todo el territorio nacional en condiciones de referencia.* Alcaldía de Bogotá. Alcaldía de Bogotá. [Online]. Available: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=19983>
- [11] *Resolución 910 de 2008 Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Por la cual se reglamentan los niveles permisibles de emisión de contaminantes que deberán cumplir las fuentes móviles terrestres, se reglamenta el artículo 91 del Decreto 948 de 1995 y se adoptan otras disposiciones.* Alcaldía de Bogotá. Alcaldía de Bogotá. [Online]. Available: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=31146>
- [12] *Resolución 909 de 2008 Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones.* [Online]. Available: <http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/f0-Resoluci%C3%B3n%20909%20de%202008%20-%20Normas%20y%20estandares%20de%20emisi%C3%B3n%20Fuentes%20fijas.pdf>
- [13] *Resolución 2254 de 2017. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.* Por la cual se adopta la norma de calidad de aire ambiente y se dictan otras disposiciones. (01 de 11 de 2017). [Online]. Available: <http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/96-res%202254%20de%202017.pdf>
- [14] *Resolución 610 de 2010. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.* Por la cual se modifica la Resolución 601 del 4 de abril de 2006. (24 de 03 de 2010). [Online]. Available: <http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/bf-Resoluci%C3%B3n%20610%20de%202010%20-%20Calidad%20del%20Aire.pdf>
- [15] *Decreto Único Reglamentario 1076 de 2015 Nivel Nacional. Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.* Alcaldía de Bogotá. Alcaldía de Bogotá. [Online]. Available: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=62511>
- [16] (2013). Instituto para la salud Geoambiental. [Online]. Available: <https://www.saludgeoambiental.org/material-particulado>
- [17] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. Informe del estado de la calidad del aire en Colombia 2007-2010. 2012 [Online]. Available: [http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022433/CALI\\_DADELAIREWEB.pdf](http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022433/CALI_DADELAIREWEB.pdf)
- [18] (2014). Gobierno de Aragón, Construyendo Europa desde Aragón. [Online]. Available: <http://www.aragonaire.es/about.php>