



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**Diseño y fabricación 3D de un educador para arrastre
de finos en un control de emisiones**

Autor(es)

Mateo Correa Céspedes

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería
Mecánica.

Medellín, Colombia

2020



Diseño y fabricación 3D de un eductor para arrastre de finos en un control de emisiones

Mateo Correa Céspedes

Informe de práctica como requisito para optar al título de:
Ingeniero Mecánico.

Asesores (a).

Laura Isabel Velásquez
Ingeniera Mecánica

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Mecánica.
Medellín, Colombia
2020.

Práctica académica

Diseño y fabricación 3D de un eductor para arrastre de finos en un control de emisiones

Informe de diseño

DOCENTE

Laura Isabel Velásquez

REALIZADO POR:

Mateo Correa Céspedes

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA



1 8 0 3

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

2020

Contenido

Resumen	6
Introducción	6
Objetivo General	7
Objetivos Específicos	7
Marco Teórico	7
<i>Ecuaciones de diseño.</i>	10
Metodología	12
Análisis CFD	14
Pre-procesamiento:	14
- <i>Identificación del problema</i>	14
- <i>Simplificación del problema:</i>	14
- <i>Realización del inverso de la geometría:</i>	14
- <i>Mallado:</i>	15
- <i>Condiciones de frontera y propiedades del fluido:</i>	16
Resultados y análisis (Post-procesamiento).	20
Impresión 3D	25
<i>Principios de operación.</i>	25
Conclusiones	30
Experiencia HACTH	31
Bibliografía.	32
Tabla 1. Características de los educutores.....	15
Tabla 2. Áreas de entrada vs ángulos de inclinación.....	22
Figura 1. Esquema general de un educutor. Elaboración propia.....	8
Figura 2. Esquema general del arreglo del sistema de vacío en el proceso. Elaboración propia.....	9
Figura 3. Puntos de referencia, Ecuaciones de diseño.	10
Figura 4. Configuración educutor sin garganta con dimensiones de tubería en mm.....	13
Figura 5. Configuración con garganta con dimensiones de tubería en mm.	13
Figura 6. Educutor con garganta y ángulo α a 28°	14
Figura 7. Volúmenes de control.....	15
Figura 8. Mallado de educutor a 28° con garganta.....	15
Figura 9. Mallado para las diferentes configuraciones.....	16
Figura 10. Condiciones de frontera.....	17

Figura 11. Métodos y Modelos de solución seleccionados.	18
Figura 12. Métodos y Modelos de solución seleccionados.	19
Figura 13. Residuales de la simulación.	20
Figura 14. Contornos de presión, temperatura y velocidad.	20
Figura 15. Flujo másico vs iteraciones.	21
Figura 16. Flujo másico de arrastre vs ángulos de inclinación.....	23
Figura 17. Variación del área de entrada del fluido de arrastre vs el ángulo de inclinación de finos.	24
Figura 18. Modelo 3D final del eductor.	25
Figura 19. Funcionamiento general de una impresora 3D (FDM).	26
Figura 20. Características de la impresora 3D Anycubic Chiron, tomado de: https://www.anycubic.com/products/anycubic-chiron-3d-printer	26
Figura 21. Vista previa de impresión. Slice	27
Figura 22. Configuración final de impresión.	28
Figura 23. Parámetros de impresión.....	29
Figura 24. Eductor impreso en 3D, resultado final.	29
Figura 25. Eductor separado en sus mitades, impresión 3D.	30

Resumen

En una compañía minera necesitaban realizar un sistema de vacío para el control de emisiones de finos, para resolver dicho problema HATCH S.A.S planteó un sistema de vacío por medio de eductores. Estos dispositivos fueron diseñados y seleccionados de acuerdo con la potencia del compresor que se tenía en el sitio, dicho diseño garantizaba una presión inferior a la atmosférica, por lo cual se garantizaba que la nube de polvos no se esparciría en el ambiente. Este estudio se basó en evaluar la posibilidad de realizar unas modificaciones que permitieran aumentar el flujo másico de arrastre sin aumentar la capacidad del compresor, las cuales fueron: inclinar el ángulo de entrada de los finos y adicionar una sección de transición o garganta en la zona tobera-difusor. La evaluación de dichas modificaciones se realizó por medio de CFD, donde se observó en los resultados obtenidos que el flujo másico de arrastre aumenta al adicionar la sección de transición, además que la inclinación del ángulo de entrada de los finos no presenta resultados de mejora en el flujo másico de arrastre, por lo cual se optó por una configuración con un ángulo de entrada de finos de 90° y con sección de transición o garganta. Una vez definida la configuración final del eductor, se procede a realizar una impresión 3D del mismo.

Introducción

La industria de la minería en Colombia y el mundo siempre ha jugado un papel de vital importancia para el desarrollo económico y tecnológico de la sociedad; dentro del marco de esta industria, surgen diferentes retos ingenieriles que requieren de soluciones técnicas de rápida ejecución y que perduren a largo plazo, pues generalmente las pérdidas en el transporte, procesamiento y extracción del material se traducen en cuantiosas sumas de dinero, es por esta razón que se tienen toda una serie de sistemas complejos para la recuperación de estos minerales y evitar que salgan al ambiente o a la atmósfera, ya que estos también pueden generar repercusiones legales debido a su alta peligrosidad y alto riesgo de contaminación.

Para uno de sus clientes, la compañía HATCH S.A.S requiere realizar el diseño de un sistema de vacío para el control de emisiones de finos, los cuales son atrapados previamente en un precipitador electrostático y son depositados a una tolva, posteriormente los finos son enviados a una línea de transporte neumático que los lleva a un separador tipo ciclón, en este proceso las partículas más pesadas se precipitan al fondo del recipiente para posteriormente ser llevados a unos hornos de recalinación y las partículas más finas de este proceso son llevadas nuevamente al precipitador electrostático.

Actualmente la planta no cuenta con el sistema de vacío para el control de emisiones, por lo cual se están teniendo problemas con las nubes de polvo alrededor de los equipos cerca a la descarga de las tolvas, esto se traduce en problemas de mantenimiento de equipos, emisiones de materiales contaminantes a la atmosfera in situ, además de pérdida de materia prima, traduciéndose todo esto en incrementos de costos de operación, una menor eficiencia del proceso y aumento de riesgos en la planta.

Para el diseño del sistema de vacío, se plantea un sistema de eductores, los cuales serán accionados por un compresor y deberán garantizar la suficiente presión de vacío para evitar el esparcimiento de la nube en la descarga de las tolvas. No se debe sobrepasar la potencia del compresor que se tiene dispuesto para el sistema de vacío. Para este caso se parte de un modelo seleccionado de acuerdo con las características y requerimientos mencionados, esto por medio de softwares y ayuda de proveedores de la compañía HATCH S.A.S, una vez seleccionado del modelo se procede a realizar las modificaciones del ángulo de entrada de los finos y la adición de una sección de transición en la zona tobera-difusor. Estas configuraciones son modeladas en 3D y serán el objeto de análisis en CFD como se mostrará en la sección de metodología.

Objetivo General

Diseñar un sistema de vacío por medio de eductores para control de emisiones de finos en tolvas.

Objetivos Específicos

1. Comprender el funcionamiento de un sistema de control de emisiones y retención de finos en un proceso de extracción de mineral ferroníquel.
2. Calcular y diseñar un eductor usando un software CAD.
3. Realizar una impresión 3D de un eductor.
4. Aprender de la experiencia de la compañía HATCH S.A.S

Marco Teórico

Los eductores son una clase de inyectores que funcionan como una bomba de chorro de fluido o bomba Venturi [1], generalmente cuenta con 3 etapas, una etapa de expansión, etapa de succión y finalmente una etapa de compresión, donde se hace el efecto inverso al de la tobera.

El principio de funcionamiento de este tipo de tecnología es aprovechar un cambio de presión ΔP generado por un compresor o bomba para generar un aumento en la velocidad del fluido y así generar una succión de un fluido circundante que entrará en contacto con el fluido acelerado [2].

Para poder realizar este proceso se requiere entonces una etapa de expansión, donde se tumba la presión del fluido presurizado por medio de una tobera. Luego este fluido acelerado, con alta velocidad y baja presión, se hace entrar en contacto con el fluido a acelerar (finos de un precipitador electrostático) donde por el efecto de la alta velocidad se genera una presión negativa o de vacío que hace que estas partículas sean aceleradas y se mezclen para ser transportadas, una vez obtenida la mezcla de ambos fluidos (inductor y inducido), estos se hacen pasar por una segunda tobera, donde se desea seguir aprovechando el ΔP remanente para aumentar la velocidad de la mezcla; por último se hacen pasar por un difusor, donde se busca tumbar velocidad a cambio de un aumento de presión.

Para realizar el diseño del eductor se deben tener en cuenta los siguientes conceptos: las ecuaciones que gobiernan el fenómeno de flujo compresible, diseño de toberas y difusores, análisis del número de Mach, propiedades de estancamiento, ecuaciones de conservación de masa y energía, ecuación de Bernoulli, entre otras, que serán descritas en la sección de ecuaciones de diseño. La figura 1 muestra de modo general un esquema para un eductor:

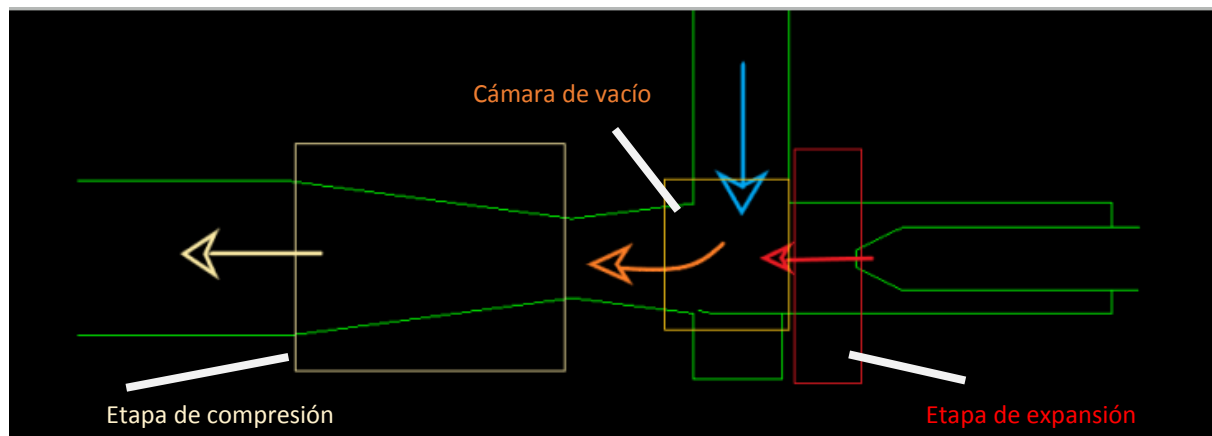


Figura 1. Esquema general de un eductor. Elaboración propia.

En la Figura anterior se marca con una flecha azul el fluido inducido, mientras que con una flecha roja el fluido inductor y por último se muestra con una flecha color beige la mezcla de ambos flujos.

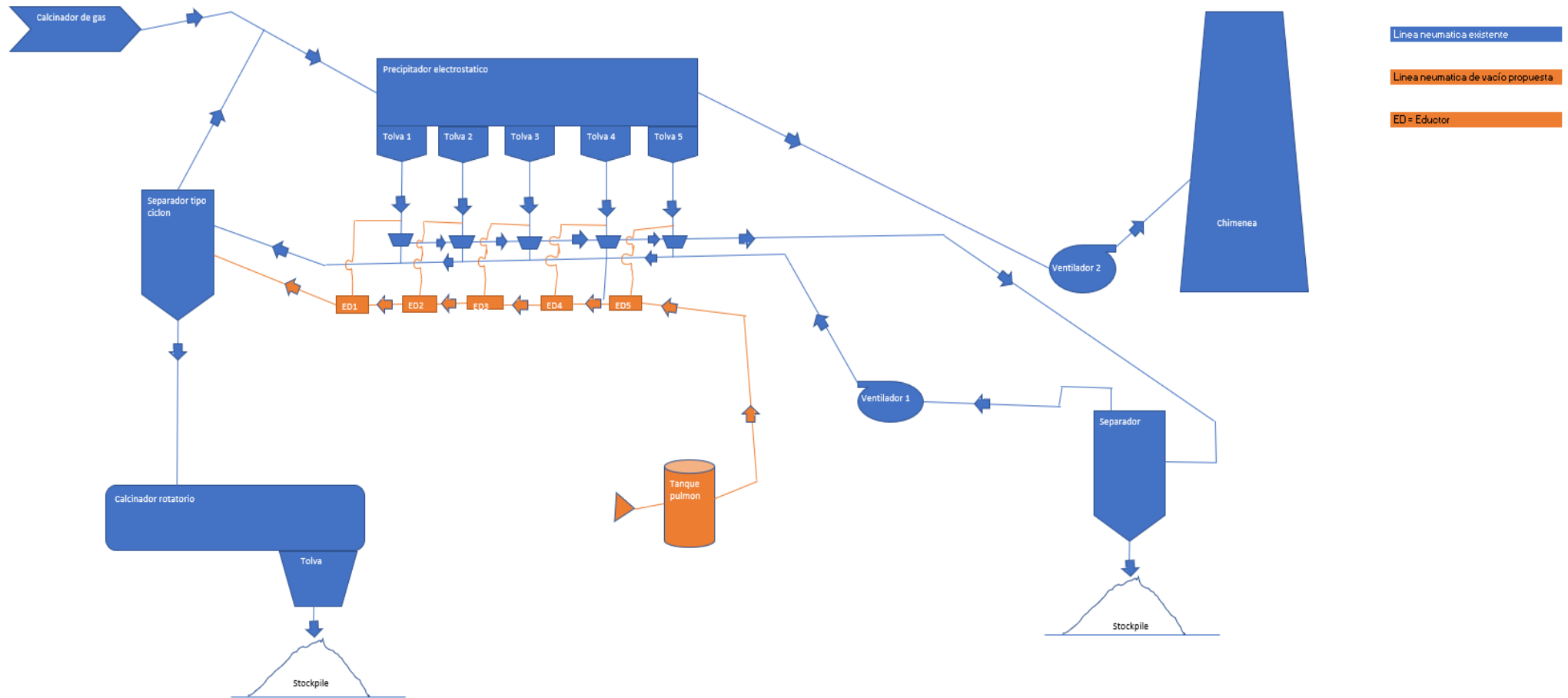


Figura 2. Esquema general del arreglo del sistema de vacío en el proceso. Elaboración propia.

Ecuaciones de diseño.

En esta sección se incluirán algunas de las ecuaciones principales que gobiernan este fenómeno.

Ecuación de Bernoulli. Principio de conservación de la Energía. Se consideran varios puntos en el eductor como se muestra a continuación:

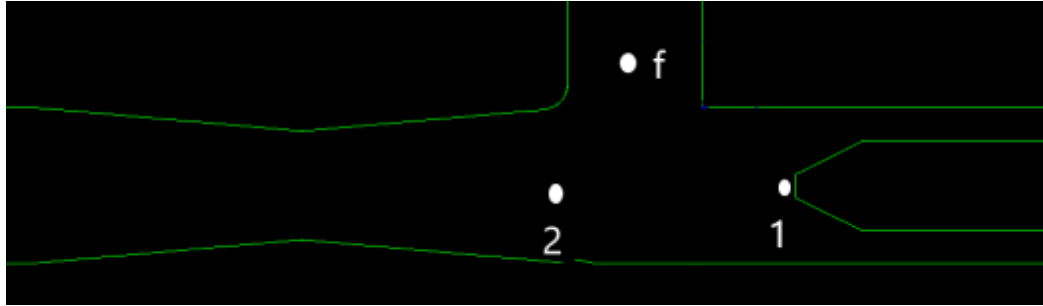


Figura 3. Puntos de referencia, Ecuaciones de diseño.

$$\frac{P_1}{\gamma_1} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 - H_1 + \frac{P_f}{\gamma_f} + \frac{v_f^2}{2g} + z_f - H_f = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 \rightarrow \frac{P_1}{\gamma_1} + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_f}{\gamma_f} + \frac{v_f^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma_2} + \frac{v_2^2}{2g} \rightarrow$$

$$\frac{P_1}{\rho_1} + \frac{1}{2}v_1^2 + \frac{P_f}{\rho_f} + \frac{1}{2}v_f^2 = \frac{P_2}{\rho_2} + \frac{1}{2}v_2^2 \rightarrow \text{Ec. 1. Balance de energía puntos 1, f, 2.}$$

P = Presión

v = Velocidad

z = Altura

$\gamma = \rho * g$

ρ = Densidad

g = Aceleración de la gravedad

H = Perdidas

La Ec. 1 se ha deducido teniendo en cuenta que las alturas de los puntos no representan un cambio significativo en comparación con los otros términos y las pérdidas han sido igualadas a 0.

Conservación de masa. Se considera un balance de masa en los puntos 1, f, 2, teniendo en cuenta que se tienen dos entradas de flujo (fluido inductor y fluido inducido), ver figura 3.

$$\dot{m}_1 + \dot{m}_f = \dot{m}_2 \rightarrow \text{Ec. 3. Ecuación de conservación de masa.}$$

$$\dot{m} = Q * \rho \rightarrow Q_1 * \rho_1 + Q_f * \rho_f = Q_2 * \rho_2 \rightarrow Q = v * A \rightarrow$$

$(v_1 * A_1) * \rho_1 + (v_f * A_f) * \rho_f = (v_2 * A_2) * \rho_2 \rightarrow$ Ec. 4. Flujo másico en términos de las velocidades y áreas.

\dot{m} = Flujo másico

Q = Caudal

A = Area transversal

ρ_1 = Densidad del fluido inductor

ρ_f = Densidad del fluido inducido

ρ_2 = Densidad de la mezcla

Las siguientes ecuaciones son también fundamentos para el desarrollo geométrico del eductor, pero estas han sido involucradas por medio de programas de diseño de eductores de la compañía HATCH, estas serán solo mencionadas.

$$\frac{\rho_0}{\rho} = \left(\frac{T_0}{T}\right)^{\frac{1}{k-1}} = (1 + 0.2M^2)^{2.5} \quad \text{Ec. 5.}$$

$$\frac{P^*}{P_0} = \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}} \quad \text{Ec. 6.}$$

$$M = \frac{V}{\sqrt{\frac{kRT}{2}}} = \frac{V}{C} \quad \text{Ec. 7}$$

ρ = densidad

P_0 = Presión de estancamiento

P^* = Presión crítica

T_0 = Temperatura de estancamiento

T = Temperatura

P = Presión

M = Número de Mach

k = Relacion de calores especificos a presión y a volumen constante

$V = \text{velocidad del fluido}$

$R = \text{Constante universal del gas}$

$C = \text{Velocidad del sonido en el medio}$

Metodología

Para el diseño de este dispositivo se recurre a bases bibliográficas internas de HATCH S.A.S y programas de diseño de eductores a los cuales tiene acceso la compañía. En estos programas se ingresaron los datos de caudal requerido, presión., temperatura, entre otros, por protección de datos y confidencialidad para con el cliente, de este proceso solo es posible mostrar los resultados geométricos como se muestra en la figura 4. Una vez obtenidas las características geométricas se contactan varios proveedores de los cuales se elige el esquema de la compañía FOX VALVE DEVELOPMENT CORP, adicionalmente al estudio de este modelo se plantea una serie de modificaciones para evaluar el comportamiento de la cantidad de masa arrastrada con el mismo dispositivo, sin alterar la presión y el flujo de suministro del equipo. La idea es modificar el ángulo del ducto de succión (ángulo z) de tal forma que favorezca las corrientes de flujo.

Adicional también se desea estudiar la influencia de una sección de transición entre la tobera y el difusor, con el fin de suavizar los cambios de sección en la línea de flujo y así evitar contrapresiones y flujos turbulentos en zonas indeseadas. Como se observa en la Figura 4 se presentan las dimensiones base para el diseño del eductor, se desea evaluar la inclinación del ángulo z en el diseño, variando desde 90° hasta 28° respecto a la línea horizontal.

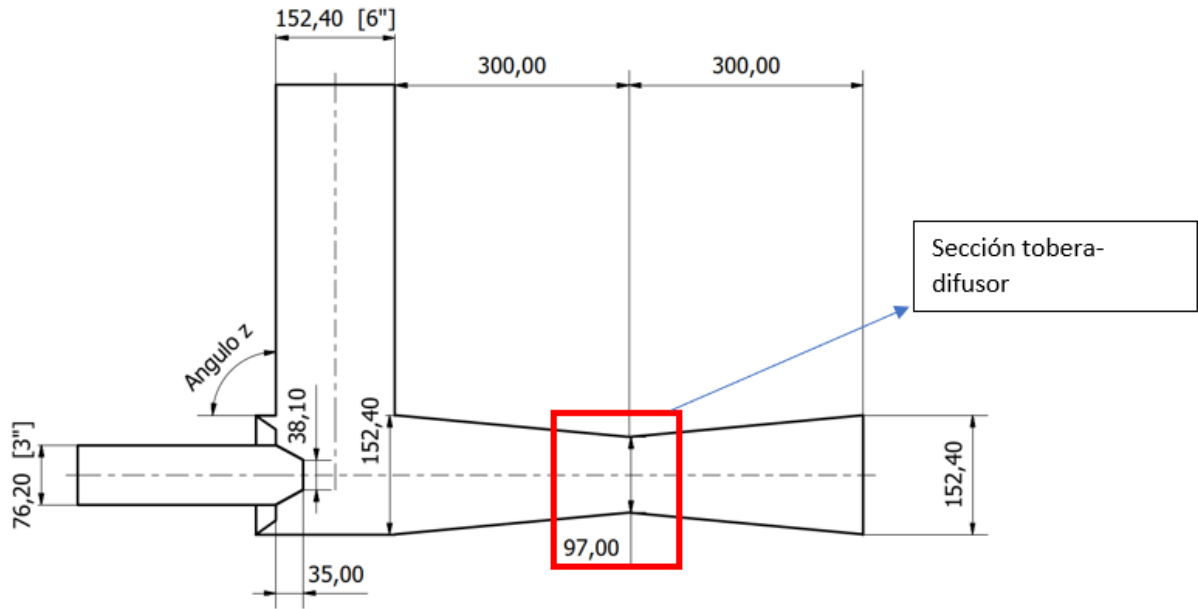


Figura 4. Configuración eductor sin garganta con dimensiones de tubería en mm.

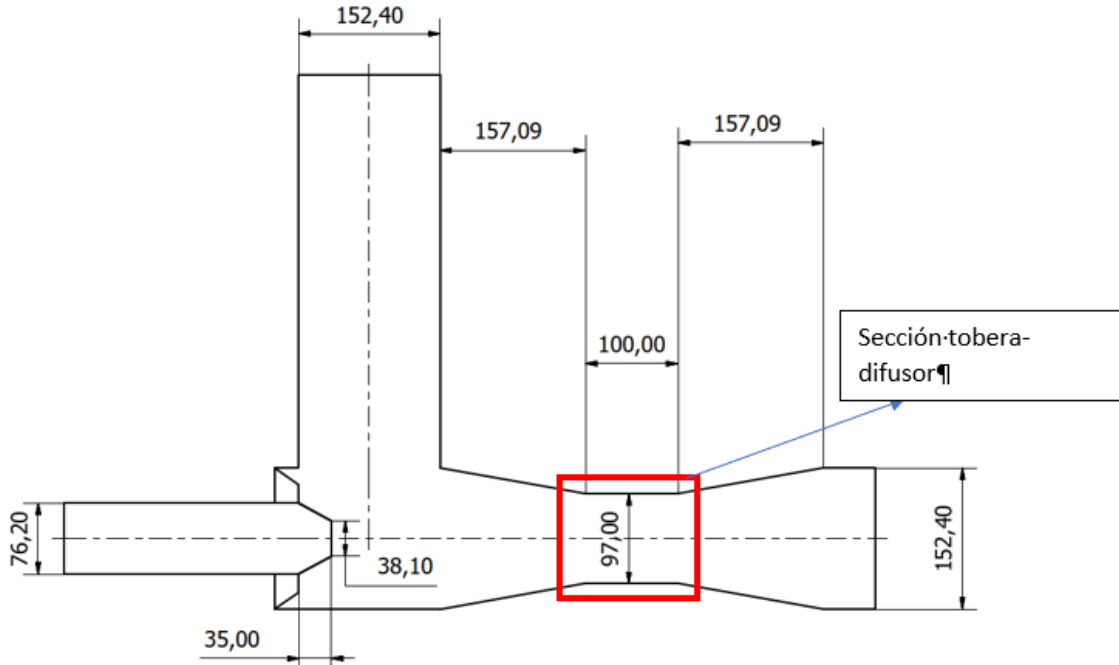


Figura 5. Configuración con garganta con dimensiones de tubería en mm.

La figura 6 muestra de forma simplificada la interacción de las partículas de los finos y el aire, lo cual será profundizado con un análisis en CFD como se muestra a continuación.

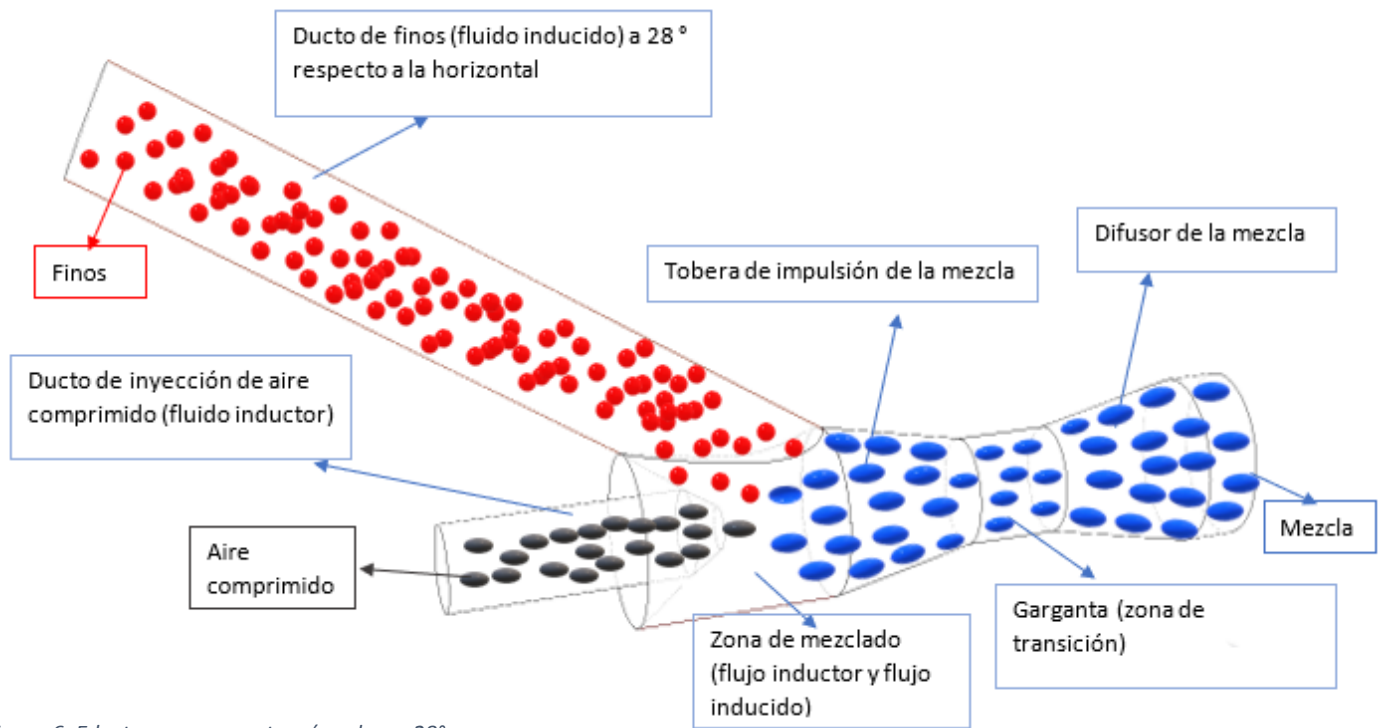


Figura 6. Eductor con garganta y ángulo z a 28° .

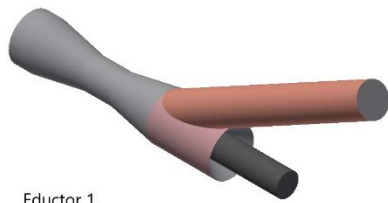
Análisis CFD

Para poder determinar el diseño óptimo del eductor, se procede a evaluar los diseños en ANSYS FLUENT mediante análisis CFD, a continuación, se definen conceptos y parámetros básicos para poder dar comienzo con las simulaciones. Para el análisis en CFD se siguen 3 pasos básicos: 1. Pre-procesamiento, 2. Simulación y 3. Post-procesamiento.

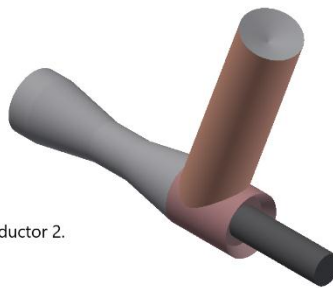
Pre-procesamiento:

- *Identificación del problema:* Evaluar los posibles diseños variando el ángulo de entrada de los finos al eductor y adicionando una zona de transición entre la tobera y el difusor.
- *Simplificación del problema:* No se tienen en cuenta accesorios en la geometría como codos, bridas, etc.
- *Realización del inverso de la geometría:* En la Figura 7, se muestran los modelos simplificados y con el volumen interno, es decir el volumen recorrido por los fluidos para varias configuraciones.

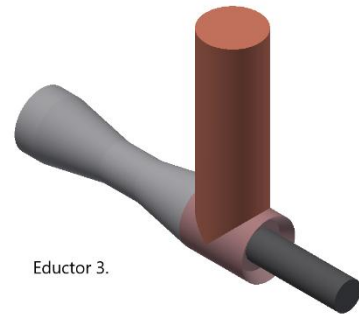
- *Mallado*: El mallado es un paso primordial para obtener resultados confiables y una simulación adecuada. En la Figura 8 se observa un mallado de configuración tetraédrica, para determinar si el mallado es adecuado o no, se evalúan los siguientes 4 criterios:
 - *Aspect Ratio* ($< 10 - 3D; < 5 2D$)
 - *Skewness* (≤ 0.85)
 - *Orthogonal Quality* ($0.25 - 1$)
 - *Smoothness* (≤ 1.2)



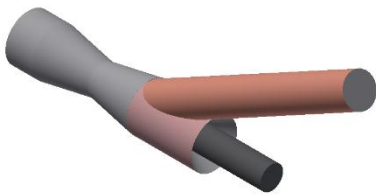
Eductor 1.



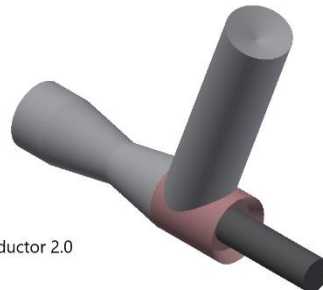
Eductor 2.



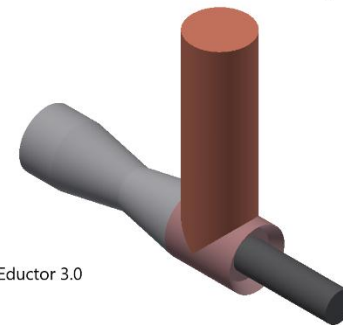
Eductor 3.



Eductor 1.0

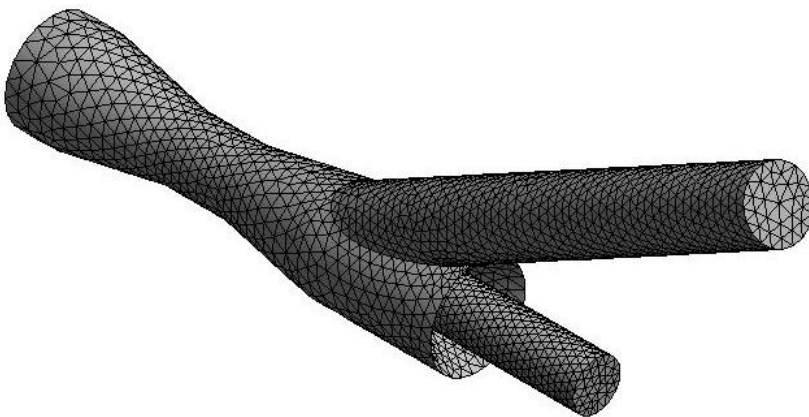


Eductor 2.0



Eductor 3.0

Figura 7. Volúmenes de control.



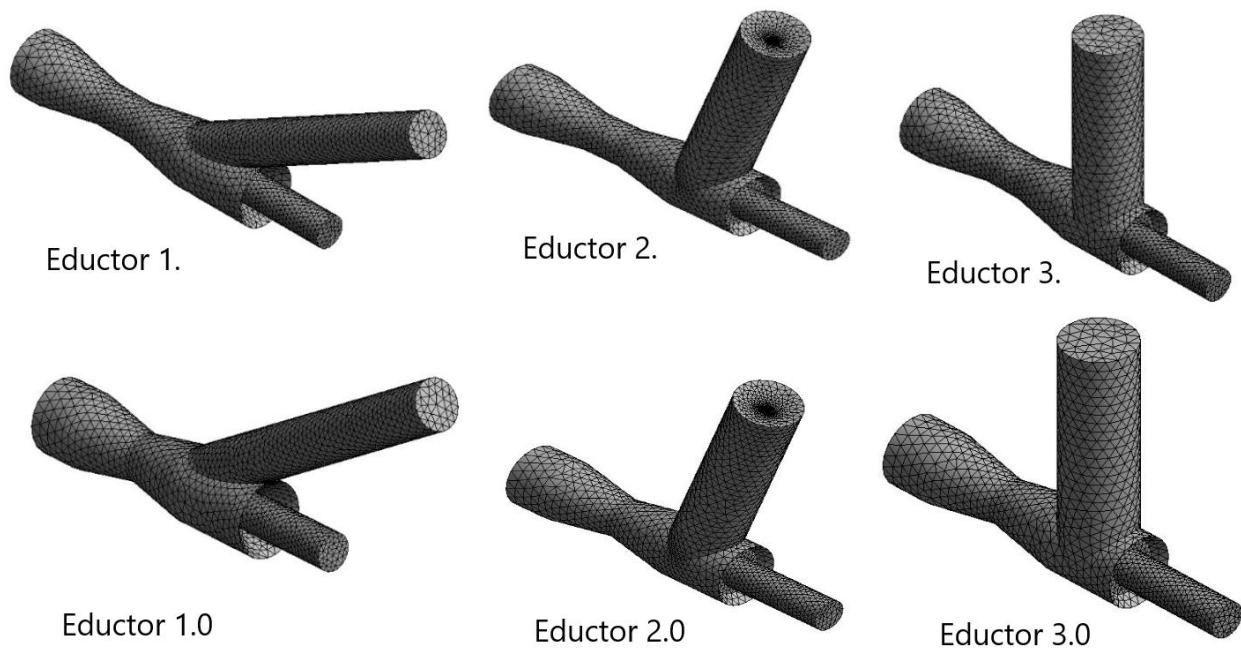


Figura 9. Mallado para las diferentes configuraciones.

- *Condiciones de frontera y propiedades del fluido:* para este paso se toman las condiciones de entrada del fluido impulsor (aire) y el fluido impulsado (finos) y asumiendo que la descarga es atmosférica.

$$T_{in2} = 110^{\circ}C$$

$$P_{in1} = 13 \text{ psig}$$

$$T_{in1} = 28^{\circ}C$$

$$\rho_{in1} = 1.225 \frac{kg}{m^3}$$

$$C_p = 1006.43 \frac{j}{kg * K}$$

$$\dot{m}_{in1} = 0.479 \frac{kg}{s}$$

$$C_p = 1006.43 \frac{j}{kg * K}$$

$$\text{Conductividad termica} = 0.0242 \frac{w}{m * K}$$

$$P_{out} = P_{atm} = 14 \text{ psi}$$

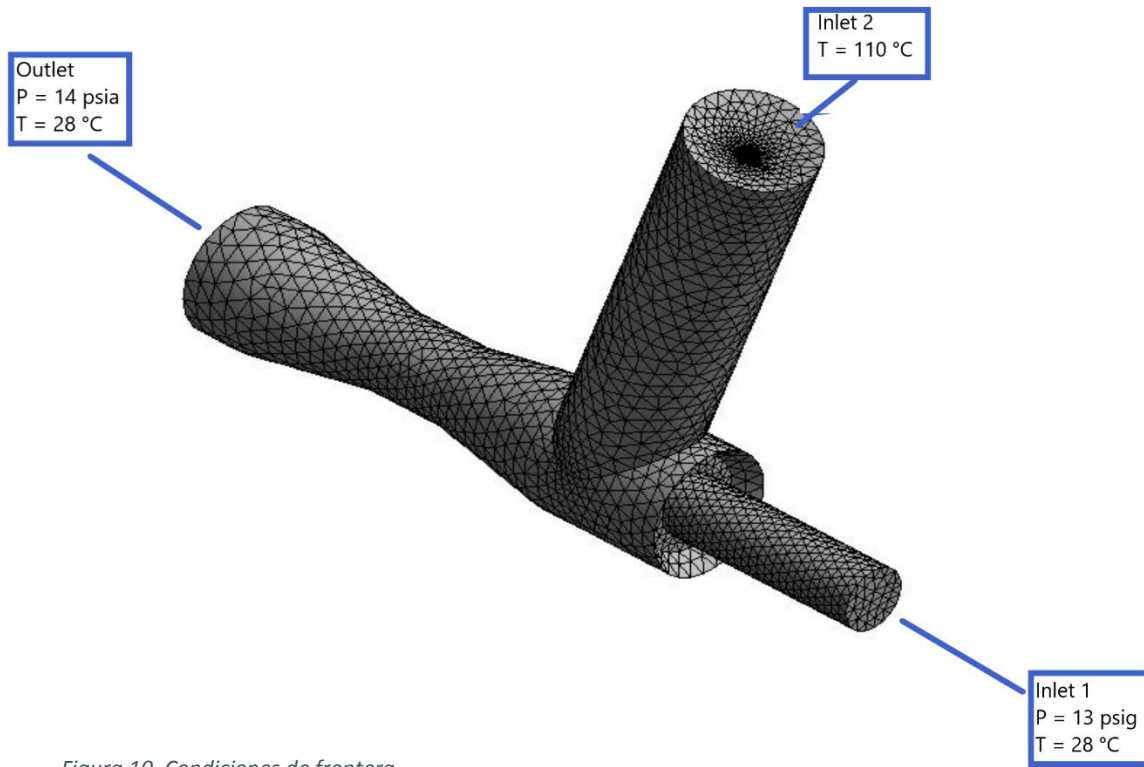


Figura 10. Condiciones de frontera.

- Una vez definidos los valores de operación y condiciones de frontera, se procede a definir los métodos y modelos de solución.

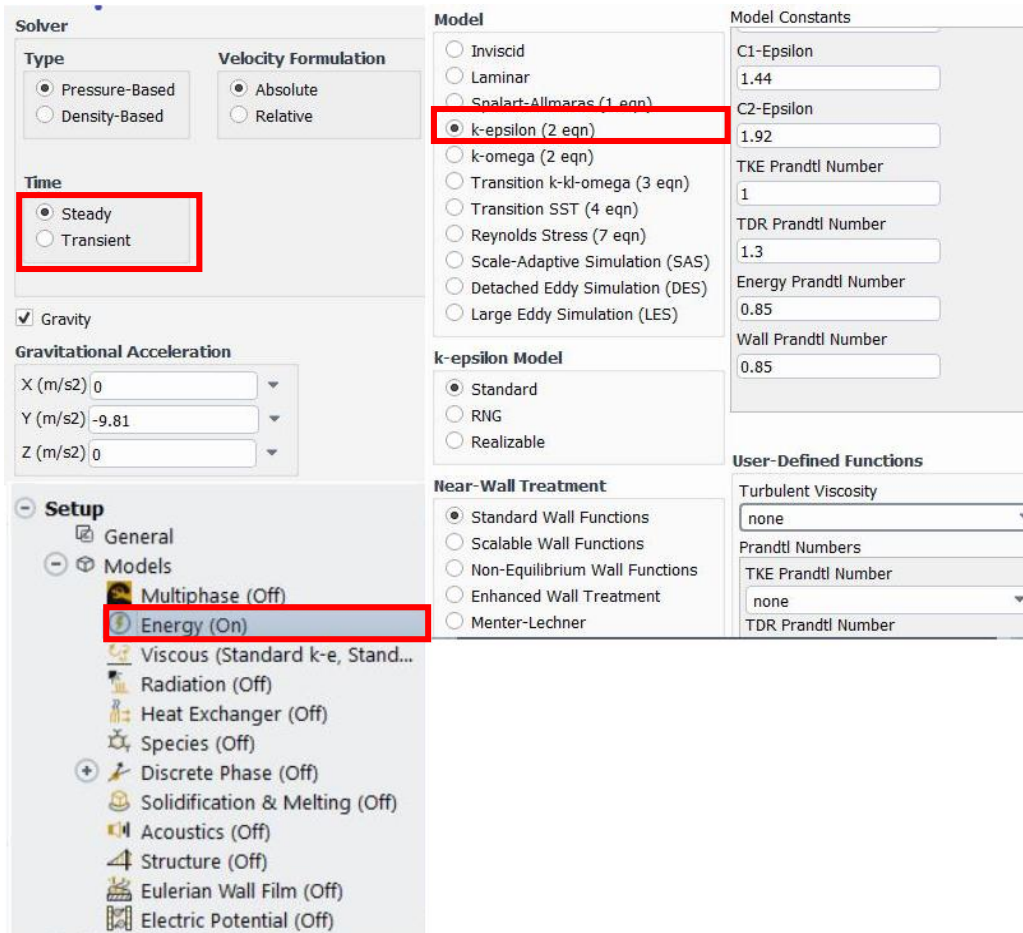


Figura 11. Métodos y Modelos de solución seleccionados.

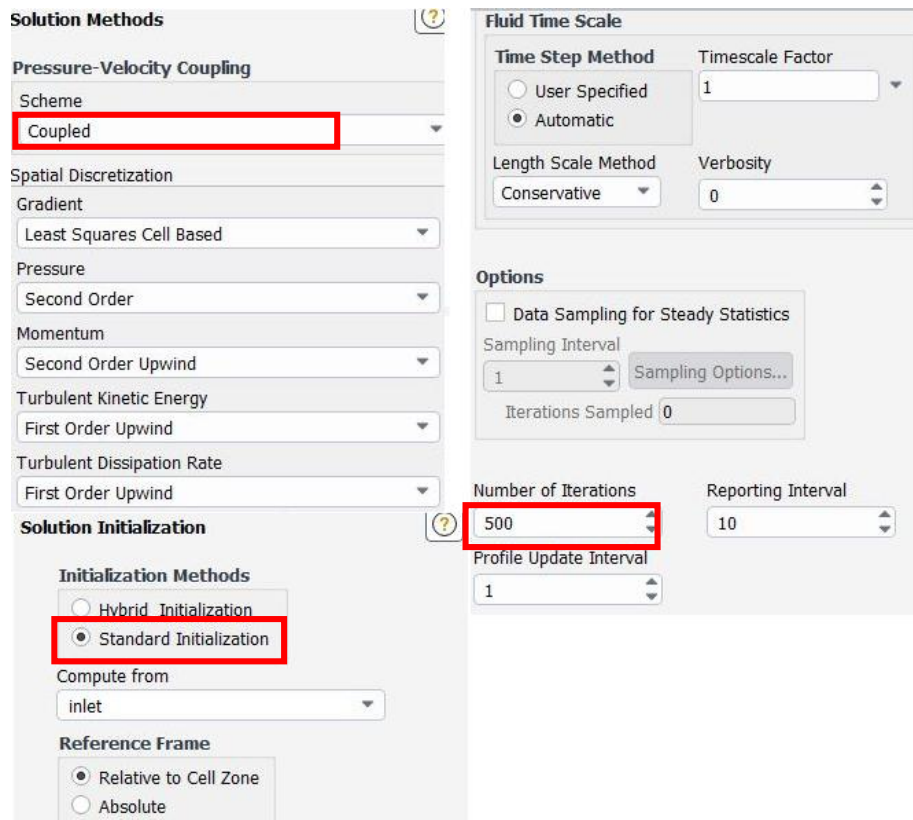


Figura 12. Métodos y Modelos de solución seleccionados.

En este análisis se harán las simulaciones con un total de 500 iteraciones. Se debe tener en cuenta que a mayor número de iteraciones, mayor es el tiempo de simulación, pero no quiere decir que sea mejor, pues este número debe ser el adecuado para que la solución converja y se establezca, no tiene sentido una simulación con 1000 iteraciones si esta se estabiliza en la iteración número 700; la estabilización se refiere a que los residuales se comportan como una línea casi constante o un patrón que se repite contra el número de iteraciones como se muestra en la Figura 13.

Una vez definidos todos los parámetros necesarios del pre-procesamiento se continúa con la simulación.

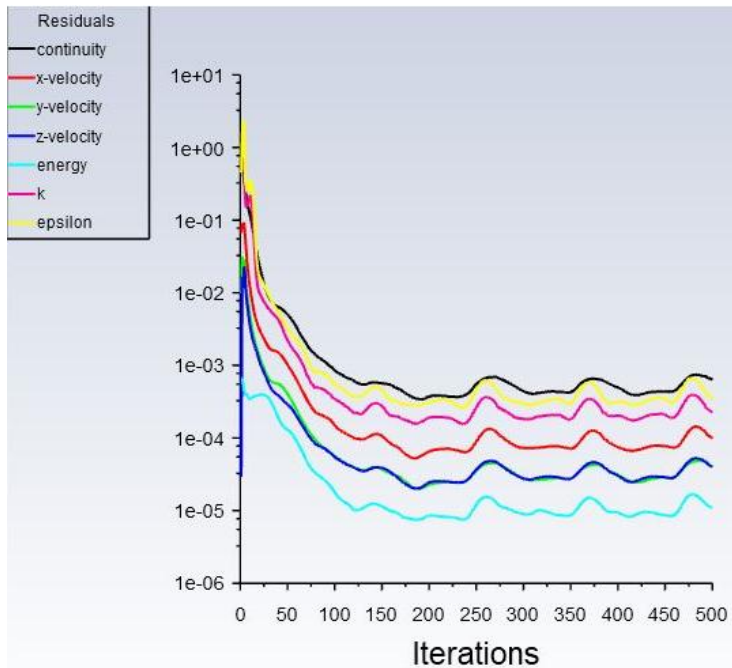


Figura 13. Residuales de la simulación.

Los mismos pasos indicados anteriormente se siguen para cada configuración del eductor.

Resultados y análisis (Post-procesamiento).

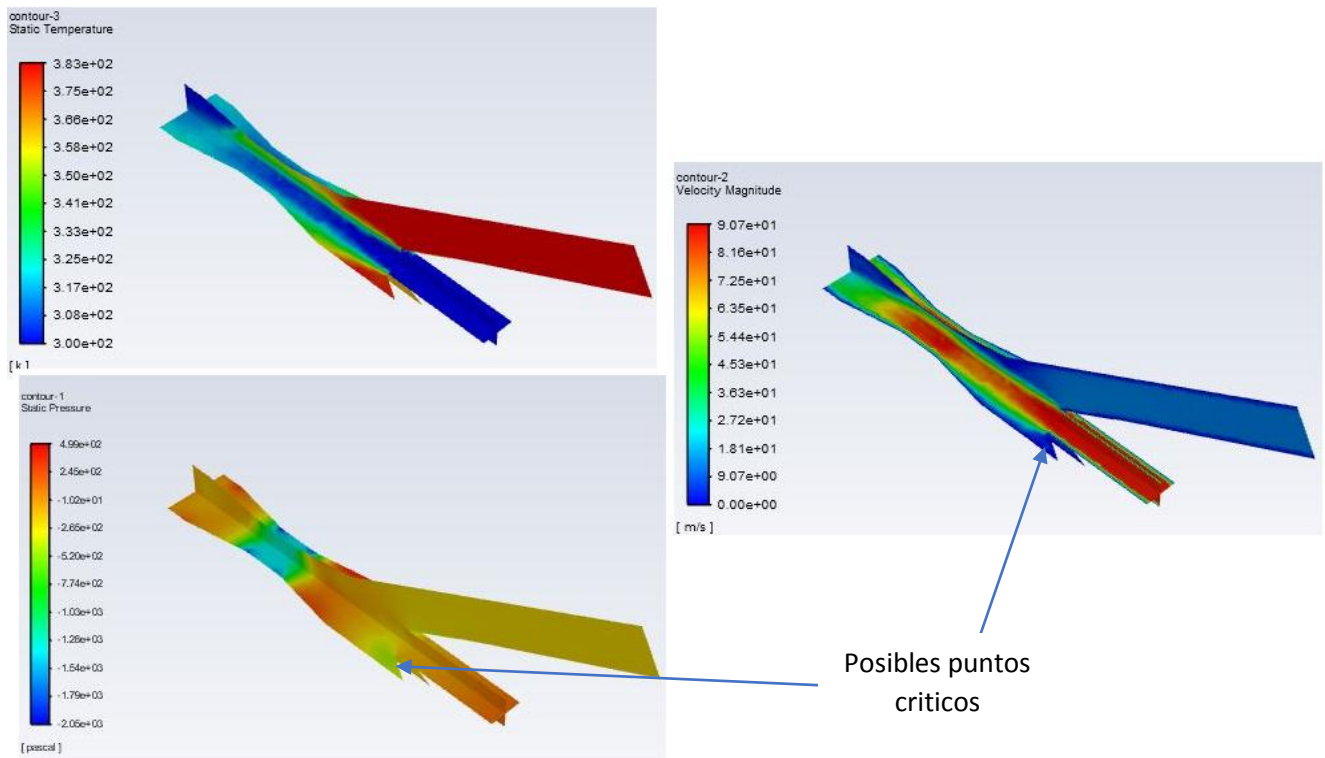


Figura 14. Contornos de presión, temperatura y velocidad.

Con los contornos de velocidad, presión y temperatura, se puede comprobar el correcto funcionamiento de la configuración tobera-difusor, velocidades altas en la garganta de la tobera, presiones altas en la salida del difusor, lo cual es el objetivo principal del eductor. Hay puntos de baja presión y velocidad en donde se pueden ubicar los dispositivos antirretorno, pues estos pueden ser los puntos críticos, ver figura 14.

Se observan líneas de flujo bien definidas y con un direccionamiento acorde a lo esperado, no se ven líneas que puedan favorecer turbulencias dentro del dispositivo, los valores en magnitud están dentro de los rangos óptimos.

Adicional a los campos de velocidad, temperatura y presión, se calculó el flujo másico de finos que arrastra el eductor. En la Figura 15 se muestra los resultados de flujo másico para la primera configuración de análisis, el flujo es graficado versus el número de iteraciones. Esta figura también permitió identificar la rápida estabilización de ese flujo de entrada.

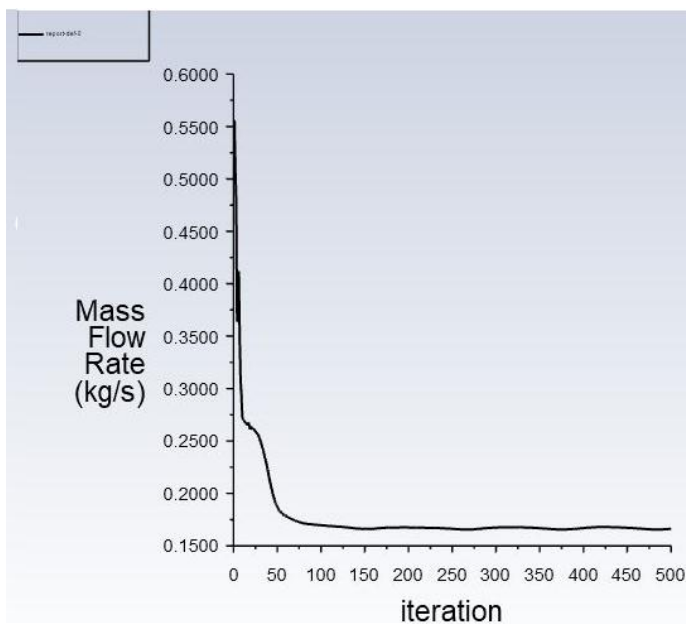


Figura 15. Flujo másico vs iteraciones.

De los resultados obtenidos se puede concluir que la configuración que mejor se comporta en cuanto a arrastre de flujo se refiere, es la de un ángulo de entrada de finos de 90° con garganta o sección de transición en la zona convergente divergente. Aunque las configuraciones con un ángulo de inclinación favorezcan las direcciones de flujo, pues no se tiene un cambio de dirección tan brusco, los resultados indican que es la condición menos favorable para la succión de flujo másico. Esto puede tener relación con el área transversal de entrada de finos al sistema como se mostrará en la siguiente tabla. Nota: las letras A, B de la Tabla 2. hacen referencia a las distancias de los semi ejes menor y mayor, ver Figura 17, sección F-F.

Configuración	Área de entrada de finos [mm ²]	Flujo másico [kg/s]	A	B
90° con garganta	18241.46925	0.179	76.2	76.2
90° sin garganta	18241.46925	0.176	76.2	76.2
70° con garganta	17141.47514	0.174	71.605	76.2
70° sin garganta	17141.47514	0.176	71.605	76.2
28° con garganta	17290.26945	0.168	51.235	107.42
28° sin garganta	17290.26945	0.153	51.235	107.42

Tabla 2. Áreas de entrada vs ángulos de inclinación.

Si se analiza cada término de la ecuación Ec. 4. Flujo másico en términos de las velocidades y áreas.

$$(v_1 * A_1) * \rho_1 + (v_f * A_f) * \rho_f = (v_2 * A_2) * \rho_2 = \text{Flujo másico} \rightarrow$$

$(v_1 * A_1) * \rho_1; \rho_f$, son constantes para todas las configuraciones

Se sabe que a medida que se disminuya el ángulo z , hay una disminución en el área de entrada de los finos, A_f , ver tabla 2, figura 17.

Respecto a v_f no es preciso concluir si aumenta o disminuye ya que se esta variando el flujo másico y el área.

$$(v_1 * A_1) * \rho_1 + (v_f * A_f) * \rho_f = \dot{m} = K + B * \rho_f$$

K

B

Si \dot{m} disminuye y tanto K como ρ_f permanecen constantes, esto quiere decir que el termino B disminuye; como B es la multiplicación de 2 términos se sabe que al menos uno debe disminuir en mayor proporción al aumento del otro si fuera el caso, o ambos términos deben disminuir en orden de mantener la proporción, por lo tanto, esta ecuación permite fundamentar la reducción del área transversal de entrada de finos como una disminución del flujo másico de arrastre.

Las siguientes figuras muestran el flujo másico de entrada de finos para todas las configuraciones de estudio.

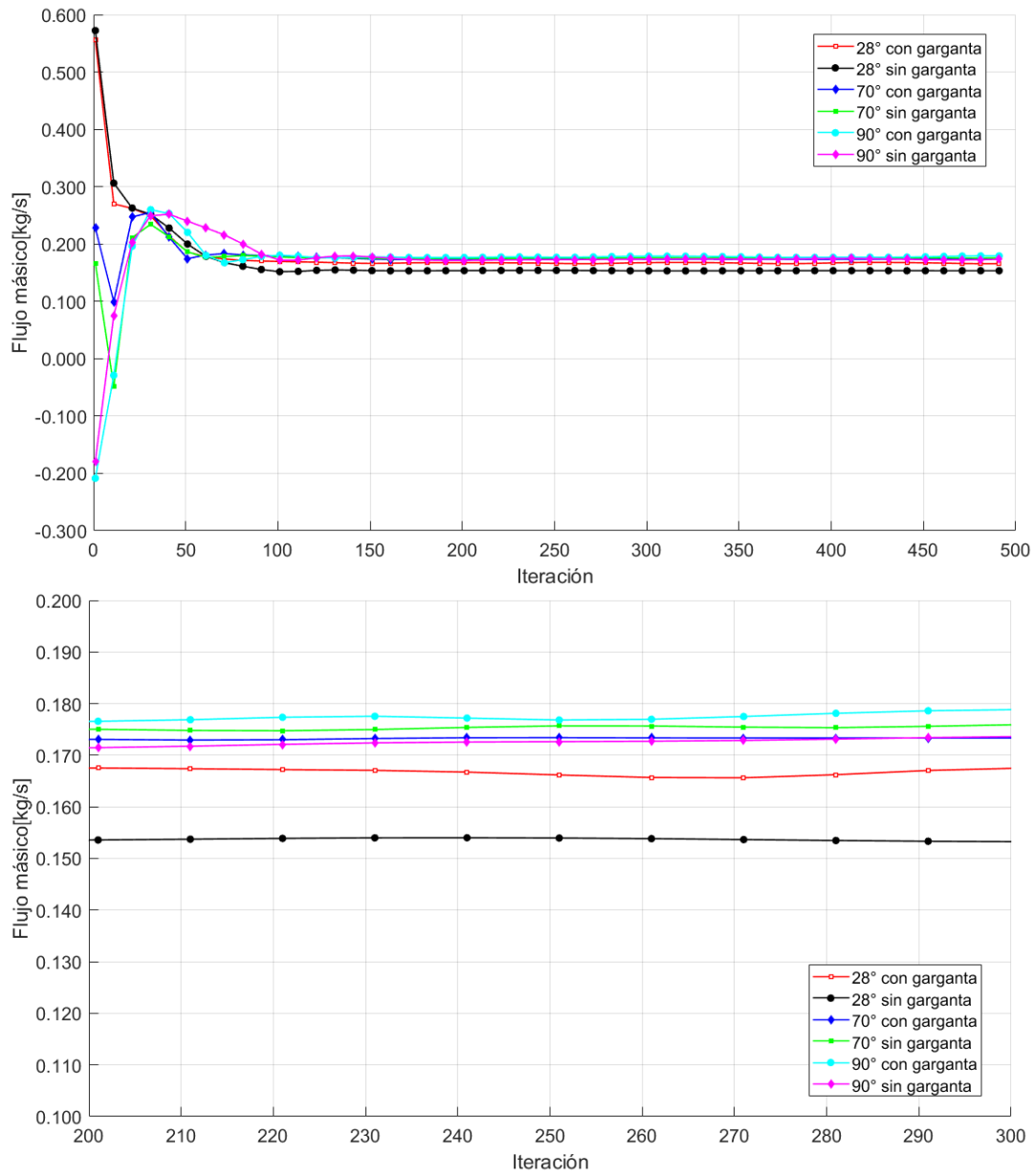


Figura 16. Flujo másico de arrastre vs ángulos de inclinación.

La tabla 2 puede justificarse si se analizan las geometrías de entrada del fluido de los finos respecto a cada ángulo de inclinación, pues se está pasando de tener un área totalmente circular a configuraciones con áreas que se empiezan a ensanchar en un eje y a alargar en otro, es decir a geometrías con formas elípticas, esto se traduce en una reducción de área respecto a el área circular en hasta un 7%, parece un valor poco significativo, pero es de las pocas variaciones que se tiene para cada modelo. A continuación, se muestra un esquema con las áreas de entrada respecto a los ángulos de inclinación.

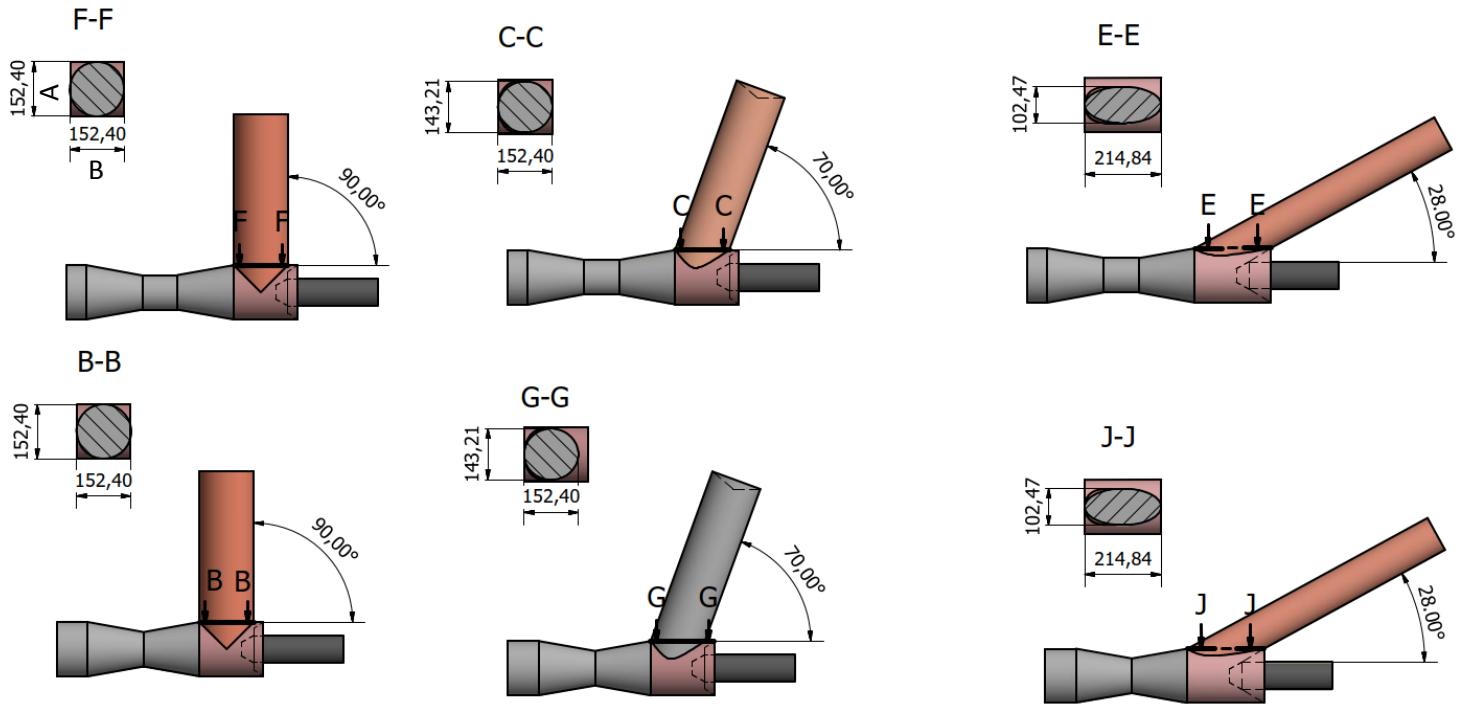


Figura 17. Variación del área de entrada del fluido de arrastre vs el ángulo de inclinación de finos.

Partiendo del análisis anterior se procede a generar el modelo final para el eductor con la configuración seleccionada con un ángulo de 90° para la entrada de finos y con garganta en la sección tobera-difusor.

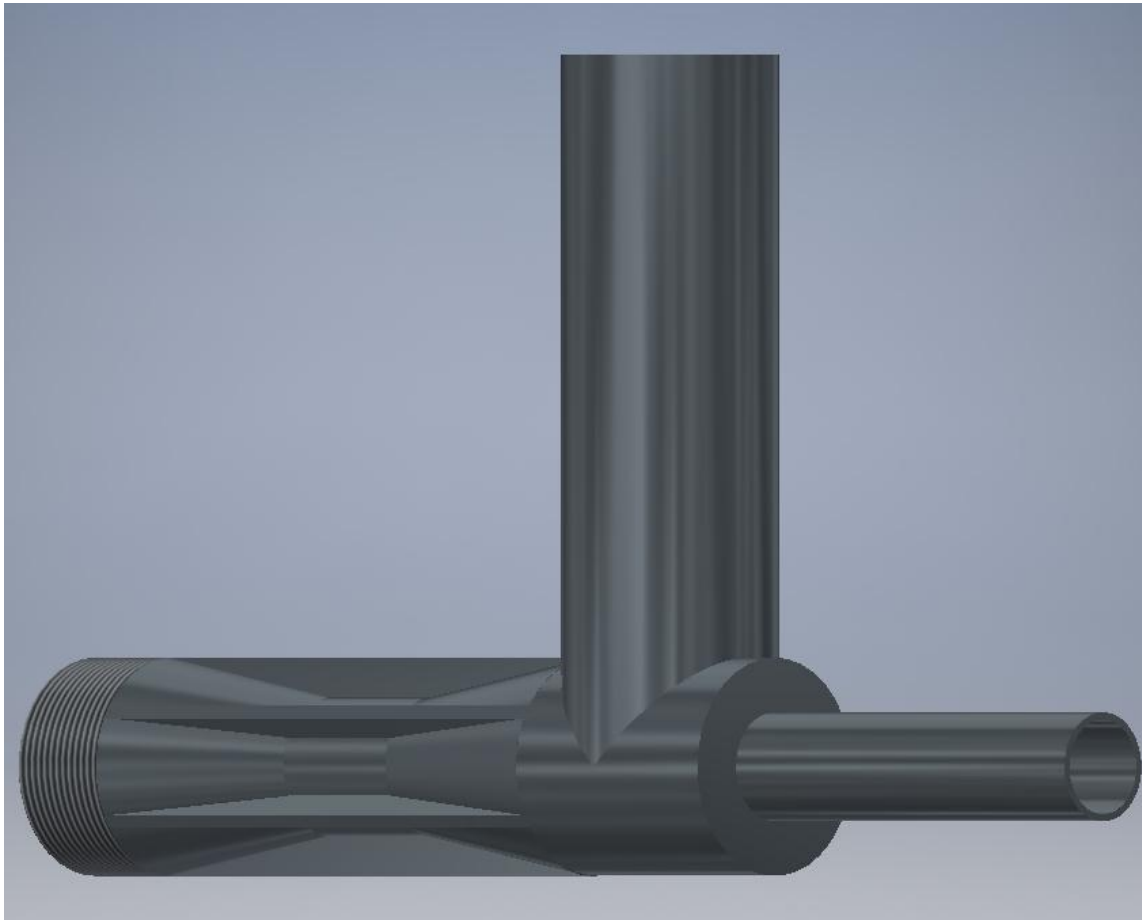


Figura 18. Modelo 3D final del educador.

Impresión 3D

En este capítulo se dará una explicación general del funcionamiento del equipo utilizado en la impresión, material, tipo de impresora, parámetros de operación, programa de impresión, que llamaremos principios de operación.

Principios de operación.

El mecanismo de operación de esta máquina es el FDM (fused deposition modeling), es un proceso de manufactura aditiva, en el cual se deposita material, generalmente plástico, capa por capa, hasta crear un objeto físico a partir de un CAD, el material es arrastrado por un mecanismo dentado, el plástico es llevado por encima de su temperatura de transición vítrea, esto con el fin de tener un material pastoso, de fácil adherencia y maleable, que permita ser moldeado a voluntad, posteriormente el material se hace pasar a través de una boquilla para ser depositado en una cama generalmente caliente. La boquilla puede moverse en 3 dimensiones, mientras que la cama se puede

mover en 2 dimensiones, estos movimientos permiten generar piezas prácticamente sin restricciones, más que el tamaño de impresión.

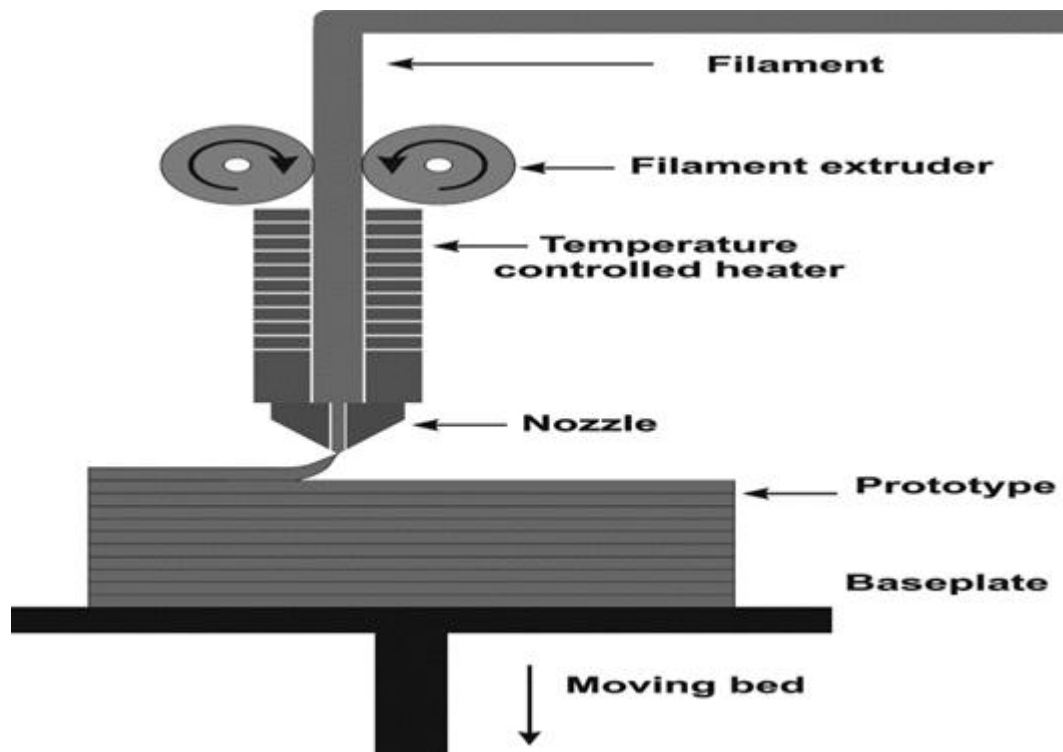


Figura 19. Funcionamiento general de una impresora 3D (FDM).

Para la elaboración de la pieza se utiliza una impresora Anycubic Chiron 3D Printer, con las siguientes características.



Impresora 3D de gran formato, de diseño modular y pantalla TFT touch.

Características:

- Voltaje de funcionamiento: 110/220VAC, 50/60HZ
- Tecnología de impresión: FDM (Modelado por Deposición Fundida)
- Precisión de posicionamiento: X/Y: 0.0125mm, Z 0.0020mm
- Precisión de impresión: 0.05-0.3mm
- Materiales de Impresión compatibles: PLA, ABS, HIPS, madera, TPL
- Velocidad de impresión: 20 ~ 100mm/s
- Velocidad de desplazamiento: 60mm/s
- Diámetro de la boquilla: 0.4mm
- Extrusor: Uno
- Tamaño de la impresión: 400mm x 400mm x 450mm
- Temperatura de funcionamiento del extrusor: 260°C
- Temperatura ambiente de funcionamiento: 8°C ~ 40°C
- Formatos de entrada: STL, OBJ, JGP, PNG
- Formato de salida: GCode
- Conectividad: Tarjeta SD, cable de datos
- Dimensiones de la impresora: 651mm x 612mm x 720mm

Figura 20. Características de la impresora 3D Anycubic Chiron, tomado de: <https://www.anycubic.com/products/anycubic-chiron-3d-printer>

El programa utilizado es Ultimaker Cura 4.5, se usó material plástico tipo PLA, para este material se deben tener en cuenta varios factores, como la temperatura de trabajo, la calidad del material y los parámetros de impresión.

Las temperaturas de impresión con PLA se recomiendan entre 170-200 °C para la boquilla y para la cama se manejan temperaturas de 50-60 °, se debe tener en cuenta que a mayor temperatura de la boquilla mayor será la retracción, algo indeseado en la impresión, la retracción se refiere a unos bellos diminutos de material que se forman cuando la boquilla debe desplazarse de un lugar a otro sin depositar material, Para disminuir la retracción se recomienda una temperatura no muy alta y adecuar la configuración de la impresora como velocidad de retracción, distancia de retracción, entre otros.

Ahora para este modelo, se tiene una geometría hueca al interior, por lo cual es necesario generar soportes para mantener la estructura, ver figura 21.

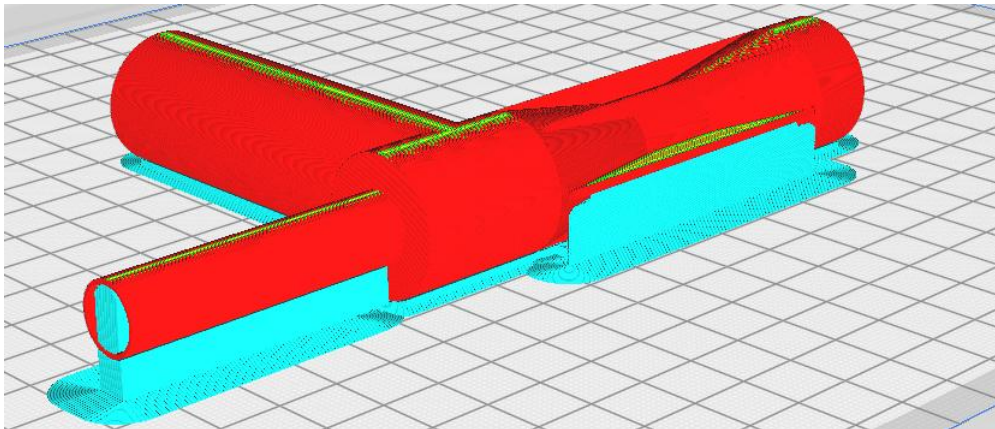


Figura 21. Vista previa de impresión. Slice

En la figura anterior en color azul se muestran los soportes necesarios para la impresión de la pieza, mantener esta configuración de impresión podría generar mucha dificultad a la hora de eliminar los soportes, adicional se podría eliminar por error la geometría interna del elemento, por lo cual se opta por dividir la pieza en mitades como se muestra en la siguiente figura.

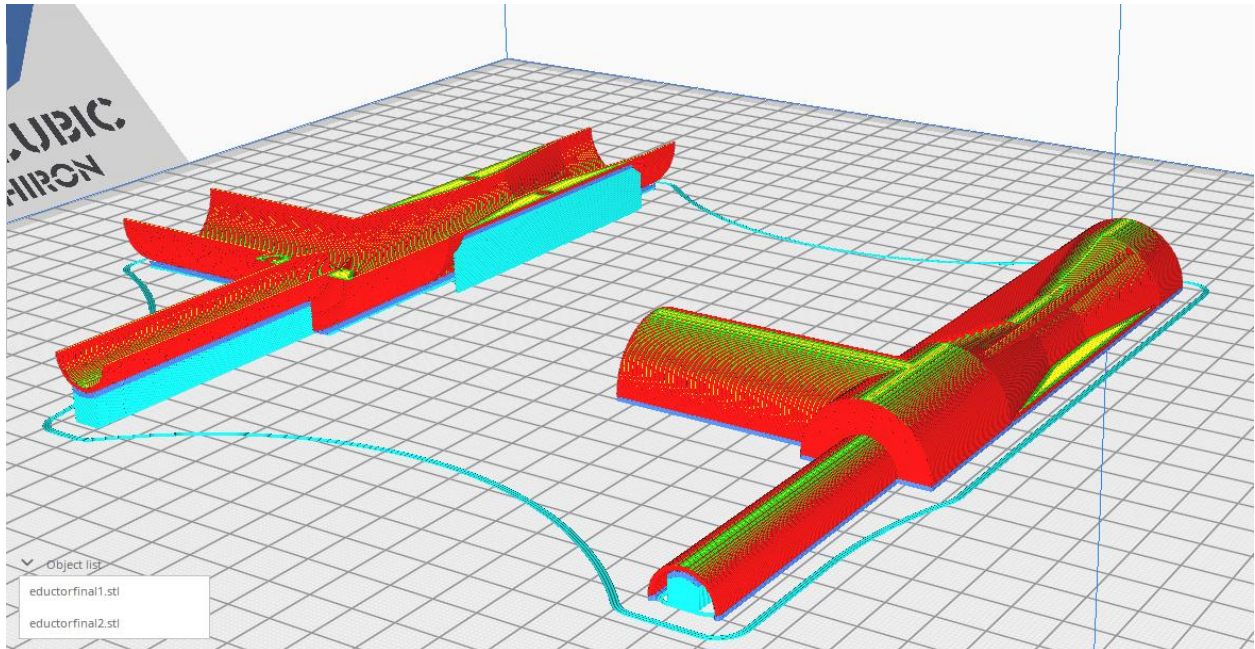


Figura 22. Configuración final de impresión.

Con esta configuración se lograra una fácil remoción de los soportes, también se busca un mejor acabado en la parte interna en la configuración izquierda, mientras que setendrá un mejor acabado exterior en la configuración derecha. Permitiendo así una visualización optima de la geometría completa.

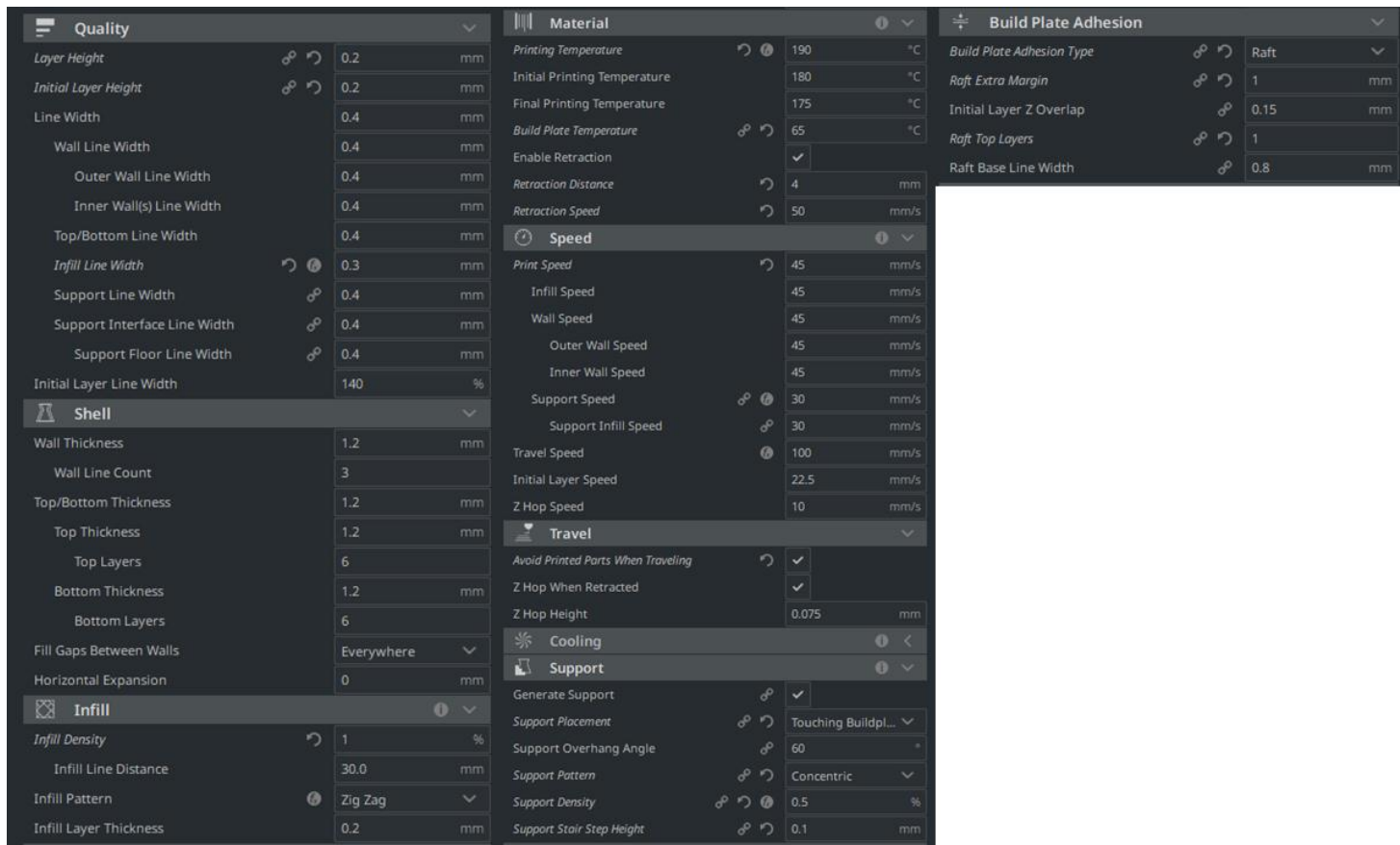


Figura 23. Parametros de impresión.



Figura 24. Eductor impreso en 3D, resultado final.



Figura 25. Eductor separado en sus mitades, impresión 3D.

Conclusiones

- Para el diseño de los eductores, la sección de transición en la zona tobera-difusor juega un papel importante aumentando el rendimiento (flujo másico inducido) del dispositivo sin necesidad de aumentar la potencia del compresor.
- Realizar modificaciones al ángulo de entrada del flujo inducido no genera los resultados esperados, este tipo de variación genera disminuciones del área de entrada del flujo, además cambia su geometría, de acuerdo a los resultados la mejor configuración para el diseño es mantener la entrada del flujo de arrastre a 90°.
- Con un adecuado análisis en CFD se pueden tomar decisiones importantes a la hora de elegir un diseño, en principio se pensaba que la inclinación de entrada de finos podría generar cambios menos bruscos en la dirección de flujo y por ende se tendría mayor cantidad de flujo másico de arrastre, pero gracias a los resultados obtenidos en las

simulaciones se pudo comparar y determinar que la configuración que mejores prestaciones generaba era la del ángulo recto. Este análisis se puede traducir en últimas en un ahorro energético, una mayor eficiencia del dispositivo y por su puesto una reducción en los costos de operación de la mina.

- El área y la geometría de entrada del fluido de arrastre tiene un impacto significativo en la magnitud del flujo másico arrastrado, esto es a menor área menor flujo, menor flujo másico de arrastre, conclusión que se obtuvo con reducciones de hasta el 7%, para un análisis más detallado se podría investigar más acerca de este parámetro con variaciones más significativas.
- Este proyecto ha sido enriquecedor, se aprende de la mano de la industria y se apoya en la academia los conceptos científicos para la solución a un problema.
- A la hora de realizar una impresión 3D, se deben tener en cuenta factores como el material, temperatura de trabajo, ubicación de la geometría, tamaño y tiempo de impresión, esto con el fin de lograr la pieza sin percances.

Experiencia HACTH

La compañía HATCH Colombia, anteriormente llamada INDISA, desempeña labores en el ámbito de servicios de ingeniería, asesorando y llevando a cabo estudios y procesos a nivel global siguiendo las mejores prácticas y ayudando a sus clientes a tomar las mejores decisiones, gracias a esta compañía, pude apoyar proyectos en estudios de factibilidad, investigaciones para las mejoras de equipos, entre otras actividades que ayudaron a formar mi carrera profesional en el ámbito laboral, se afianzaron conceptos teóricos y se combinaron con la experiencia en la industria que tiene la compañía, esto dio como resultado un gran conocimiento y experiencia a la hora de enfrentar los problemas y retos que día a día se presentan en los diferentes campos industriales de la región y el mundo. Esta experiencia me ha permitido crecer como ingeniero, complementando mi formación académica y generando carácter y confianza a la hora de afrontar los clientes, comunicarme con proveedores, interacción y resolución de problemas con los demás ingenieros y compañeros de trabajo, desarrollar habilidades de trabajo en equipo, seguimiento

de órdenes, entre otras aptitudes que han formado un ingeniero que siempre velara por seguir y hacer cumplir las mejores prácticas de ingeniería y que también se enfocara en generar un impacto positivo social en cada proyecto en el que participe.

Bibliografía.

[1]. Eductor - Principle, Operation and Maintenance on Ships. (2020). Retrieved 2 March 2020, from <https://marineengineeringonline.com/operation-maintenance-eductor-ships/>.

[2]. *Información interna de la compañía HATCH S.A.S.* Pdf, Medellín- Colombia.

[3]. How do I design an eductor-jet or venturi system to rapidly remove the sand from a pool filter? (2020). Retrieved 14 May 2020, from <https://www.instructables.com/community/How-do-I-design-an-eductor-jet-or-venturi-system-t/>

- [5]. Efecto Venturi - EcuRed. (2020). Retrieved 2 March 2020, from https://www.ecured.cu/Efecto_Venturi
- [6]. Tubo de Venturi. (2020). Retrieved 2 March 2020, from http://laplace.us.es/wiki/index.php/Tubo_de_Venturi
- [7]. (2020). Retrieved 2 March 2020, from https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/108432/18455701_TFG_15362549058362104881676073444283.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- [8]. Zucker, R., & Biblarz, O. *Fundamentals of gas dynamics*.
- [9]. (2020). Retrieved 28 February 2020, from <https://www.youtube.com/watch?v=vPtFm26ceeU>
- [10]. Darby, R., & Chhabra, R. *Chemical engineering fluid mechanics*.
- [11]. Bedoya Caro, I. *Flujo Copresible* [Ebook]. Medellín- Antioquia.
- [12] Colorado, A., & Obando, J. (2019). *Dinamica de fluidos computacional - Definición de geometrías y mallado* [Ebook]. Medellín.
- [13] Palma Jaramillo, J. *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE EDUCTOR PARA LA ELIMINACIÓN DE LA CAVITACIÓN EN BOMBAS CENTRÍFUGAS* [Ebook]. Retrieved from <http://dspace.unl.edu.ec:9001/jspui/bitstream/123456789/16437/1/Palma%20Jaramillo%2C%20Jos%C3%A9%20Alberto.pdf>