



# UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

*La Universidad Católica de Loja*

## ÁREA TÉCNICA

TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

**Harvesting de energía microeólica en la producción de electricidad en zonas de clima extremo.**

TRABAJO DE TITULACIÓN

**AUTORES:** Carrión Pineda, René Fernando

Villavicencio Bustamante, Javier Alejandro

**DIRECTOR:** Jaramillo Pacheco, Jorge Luis, MsC.

LOJA – ECUADOR

2018



*Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>*

2018

## APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

MsC.

Jorge Luis Jaramillo Pacheco.

### DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación: "**Harvesting de energía microeólica en la producción de electricidad en zonas de clima extremo**", realizado por **Carrión Pineda René Fernando** y **Villavicencio Bustamante Javier Alejandro**, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, septiembre de 2018

f) .....

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Nosotros, **Carrión Pineda René Fernando** y **Villavicencio Bustamante Javier Alejandro**, declaramos ser autores del presente trabajo de titulación: “Harvesting de energía microeólica en la producción de electricidad en zonas de clima extremo”, de la Titulación de Electrónica y Telecomunicaciones, siendo **Jorge Luis Jaramillo Pacheco** director del presente trabajo; y eximimos expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente, declaramos conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado o trabajos de titulación que se realicen con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

f. ....

**Autor:** Carrión Pineda René Fernando

**Cédula:** 1104735053

f. ....

**Autor:** Villavicencio Bustamante Javier Alejandro

**Cédula:** 1104308315

## **DEDICATORIA**

A mi madre Esperanza, que con su esfuerzo y carácter me ha incentivado siempre a perseguir mis objetivos y cumplir mis metas.

A mi hijo Matías, quien es mi inspiración diaria y por quien buscaré siempre llegar lo más lejos.

A mis hermanos Oscar y Tania, que con su buen ejemplo me han mostrado el camino a seguir para llegar a ser una persona honesta y de bien.

A mi novia Luz, por apoyarme en todo momento y acompañarme en la consecución de mis futuros objetivos.

A mis amigos, que han estado en el transcurso de este ciclo universitario y siempre me brindaron su apoyo incondicional en todos los ámbitos, no solo académicos, sino también personales. Amigos cuyos consejos y enseñanzas perdurarán en el tiempo y que han hecho que este ciclo de mi vida lo culmine con los mejores recuerdos y anécdotas.

***René Carrión***

## **DEDICATORIA**

A Dios y a la Virgencita del Cisne por permitirme alcanzar mis objetivos.

A mi familia y de una manera muy especial a mis padres Marlo y Karla, a mi hermana Marlita por ser mi ejemplo, motivación y la razón por la que nunca me di por vencido a pesar de todos los obstáculos.

A mis amigos que de una u otra forma estuvieron ahí para brindarme su apoyo incondicional en todo momento.

***Alejandro Villavicencio***

## **AGRADECIMIENTO**

A nuestro director de Trabajo de Fin de Titulación, Ing. Jorge Luis Jaramillo por permitirnos trabajar con él y brindarnos sus conocimientos en cada parte del proyecto.

Al Ing. Tuesman Castillo y al Ing. Raúl Castro por la colaboración prestada en la revisión del proyecto y por compartir sus observaciones para la exitosa culminación del mismo.

A todas las personas que confiaron en nosotros, y que de una u otra forma estuvieron dándonos su apoyo durante toda la carrera universitaria.

***René y Alejandro***

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS .....	iii
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTO .....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	vii
INDICE DE FIGURAS .....	ix
RESUMEN .....	1
ABSTRACT .....	2
INTRODUCCIÓN .....	3
CAPÍTULO I .....	4
ESTADO DEL ARTE .....	4
1.1. Planteamiento del problema .....	5
1.2. Objetivos .....	5
1.2.1. Objetivo General .....	5
1.2.2. Objetivos Específicos .....	5
1.3. Justificación e importancia del proyecto .....	5
1.4. Alcance del proyecto .....	5
1.5. Marco Teórico .....	5
1.5.1. Sobre el efecto y el tubo Venturi .....	5
1.5.2. Sobre microgeneración eólica y microgeneradores eólicos .....	7
1.5.3. Algunas referencias sobre el aprovechamiento del efecto Venturi en proyectos de harvesting de energía eólica .....	8
1.5.3.1. Magnus Venturi .....	8
1.5.3.2. Invelox .....	9
1.5.3.3. Energy Ball .....	11
1.5.4. Elección de un modelo referencial .....	12
CAPITULO II .....	13
DISEÑO BÁSICO .....	13



2.1.	Metodología de diseño básico.....	14
2.2.	Análisis de desempeño de la estructura Venturi.....	16
2.2.1.	Sobre la metodología para la simulación de desempeño. ....	16
2.2.2.	Sobre los criterios para la simulación de desempeño.....	17
2.2.3.	Análisis de los resultados de desempeño de las variaciones de estructura Venturi.....	17
2.3.	Análisis del desempeño del microgenerador eléctrico.....	19
2.3.1.	Sobre la metodología para el diseño de turbinas. ....	19
2.3.2.	Diseño de turbinas del microgenerador. ....	20
CAPÍTULO III.....		23
INGENIERÍA DE DETALLE Y EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO.....		23
3.1.	Sobre el abordaje de la etapa de ingeniería de detalle.....	24
3.1.1.	Ingeniería de detalle de la tobera.....	24
3.1.2.	Ingeniería de detalle de la turbina.....	29
3.2.	Ensamblaje y evaluación de desempeño del microaerogenerador.....	34
CONCLUSIONES.....		37
RECOMENDACIONES.....		38
BIBLIOGRAFÍA.....		39
ANEXOS.....		42

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Esquema general del efecto Venturi.....	6
<b>Figura 2.</b> Vista general de un tubo de Venturi .....	6
<b>Figura 3.</b> Vista general del Magnus Venturi.....	9
<b>Figura 4.</b> Vista general del aerogenerador Invelox.....	10
<b>Figura 5.</b> Vista de la turbina interna del Invelox.....	10
<b>Figura 6.</b> Vista general del aerogenerador Energy Ball.....	11
<b>Figura 7.</b> Principio de funcionamiento del aerogenerador Energy Ball .....	12
<b>Figura 8.</b> Vista frontal del prototipo a experimentar .....	14
<b>Figura 9.</b> Vista lateral del prototipo a experimentar .....	15
<b>Figura 10.</b> Geometría general propuesta para el microgenerador eléctrico .....	15
<b>Figura 11.</b> Algoritmo para la simulación de desempeño de las diferentes versiones de la estructura Venturi del microgenerador eólico .....	16
<b>Figura 12.</b> Geometría de la primera variación de tobera simulada .....	17
<b>Figura 13.</b> Geometría de la segunda variación de tobera simulada .....	18
<b>Figura 14.</b> Geometría de la tercera variación de tobera simulada .....	18
<b>Figura 15.</b> Geometría de la cuarta variación de tobera simulada .....	19
<b>Figura 16.</b> Algoritmo para el diseño de los diferentes modelos de turbinas para el microgenerador.....	20
<b>Figura 17.</b> Vista general de una turbina con álabes semicirculares.....	20
<b>Figura 18.</b> Diseño 3D de la turbina con álabes semicirculares .....	21
<b>Figura 19.</b> Diseño 3D de la turbina con tres álabes curvos.....	21
<b>Figura 20.</b> Diseño 3D de la turbina con álabes curvos hacia atrás.....	22
<b>Figura 21.</b> Flujograma de actividades en la fase de ingeniería de detalle de las toberas del prototipo .....	25
<b>Figura 22.</b> Vista general de la estación de trabajo improvisada para medir el desempeño de las toberas del prototipo .....	25
<b>Figura 23.</b> Vista general del anemómetro digital KKmoon GM8908 .....	26
<b>Figura 24.</b> Vista general de la primera tobera fabricada .....	26
<b>Figura 25.</b> Vista general de la segunda tobera fabricada.....	27
<b>Figura 26.</b> Vista general de la tercera tobera fabricada.....	27
<b>Figura 27.</b> Vista general de la cuarta tobera fabricada.....	28
<b>Figura 28.</b> Velocidades simuladas y medidas a la salida de las toberas .....	29
<b>Figura 29.</b> Motor DC de 12V usado como microgenerador eléctrico en el proyecto .....	29

<b>Figura 30.</b> Flujograma de actividades en la fase de ingeniería de detalle de las turbinas del prototipo .....	30
<b>Figura 31.</b> Vista general del motor DC de 3V utilizado como carga para medir la corriente generada en el microgenerador .....	31
<b>Figura 32.</b> Vista general del multímetro Proskit 3PK-8200G utilizado para las mediciones de corriente y voltaje .....	31
<b>Figura 33.</b> Vista general de la turbina con álabes semicirculares impresa .....	32
<b>Figura 34.</b> Vista general de la turbina con tres álabes curvos impresa.....	33
<b>Figura 35.</b> Vista general de la turbina con álabes curvos hacia atrás adquirida.....	33
<b>Figura 36.</b> Vista general del microaerogenerador montado en la plataforma de pruebas.....	34
<b>Figura 37.</b> Potencia proporcionada por el aerogenerador evaluado con tobera y sin tobera	36

## **RESUMEN**

En este trabajo se explica el efecto Venturi, se analiza algunas aplicaciones de éste efecto en el harvesting de energía ambiental y la generación de energía eléctrica en zonas de clima extremo. Se describe a nivel conceptual un diseño propio para captura de energía con base en la aplicación del referido efecto, se explican los resultados obtenidos en la fase de ingeniería básica y se discute los resultados alcanzados en las etapas de ingeniería de detalle y evaluación.

**PALABRAS CLAVE:** energía, harvesting de energía ambiental, efecto Venturi.

## **ABSTRACT**

In the work the Venturi effects is explained, some applications of this effect are analyzed in the harvesting of environmental energy and the generation of electric power in extreme climate zones. A specific design for energy capture is described at the conceptual level based on the application of the aforementioned effect, the results obtained in the basic engineering phase are explained and the results achieved in the detailed engineering and evaluation stages are discussed.

**KEYWORDS:** energy, environmental energy harvesting, Venturi effect.

## INTRODUCCIÓN

El crecimiento poblacional y el aumento en la demanda per cápita de energía, presionan sobre los ya agotados recursos fósiles para la generación de energía. Esto ha llevado a la búsqueda de nuevas fuentes de energía aprovechables, priorizando las ambientalmente neutras.

Entre las opciones identificadas para la provisión futura y neutra de energía, especial interés merece la generación de electricidad a partir del aprovechamiento microeólico.

En este documento, se describe el efecto Venturi que sustenta la generación de electricidad a partir del aprovechamiento microeólico, se analiza la aplicación de éste efecto en el harvesting de energía ambiental y la generación de energía eléctrica en zonas de clima extremo.

En un primer capítulo se describe a nivel conceptual, un diseño propio para captura de energía con base a la aplicación del efecto Venturi. En el segundo capítulo se describe los resultados obtenidos en la etapa de ingeniería básica o de diseño del microgenerador Magnus Venturi que el equipo de trabajo adoptó como modelo referencial para adaptarlo a la microgeneración eólica. Finalmente, en el último capítulo se describe los resultados obtenidos en la etapa de ingeniería de detalle del microgenerador eólico diseñado bajo el paradigma del proyecto Magnus Venturi.

## **CAPÍTULO I**

### **ESTADO DEL ARTE**

## **1.1. Planteamiento del problema**

El crecimiento poblacional y el aumento en la demanda per cápita de energía, presionan sobre los ya agotados recursos fósiles para la generación de energía. Esto ha llevado a la búsqueda de nuevas fuentes de energía aprovechables, priorizando las ambientalmente neutras.

Entre las opciones identificadas para la provisión futura y neutra de energía, especial interés merece la generación de electricidad a partir del aprovechamiento microeólico. Este trabajo pretende aportar a ampliar el esfuerzo existente en esta área.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo General.**

- Diseñar e implementar un módulo de harvesting de energía eólica en condiciones extremas.

### **1.2.2. Objetivos Específicos.**

- Diseñar un módulo harvesting para capturar la energía eólica.
- Construir y evaluar el desempeño del módulo.

## **1.3. Justificación e importancia del proyecto**

El proyecto busca construir y evaluar un microgenerador eólico que permita abastecerse de energía eléctrica en zonas de clima extremo, en donde las condiciones del medio y ubicación geográfica no permiten el abastecimiento a través de las fuentes convencionales de electricidad.

En el marco de este proyecto, se considerará parte del clima extremo el apareamiento de ráfagas de viento de más de 1 m/s.

## **1.4. Alcance del proyecto**

Como parte del proyecto, se diseñó, construyó y evaluó el desempeño de un prototipo de módulo para harvesting de energía microeólica que aproveche ráfagas de 1 m/s de velocidad.

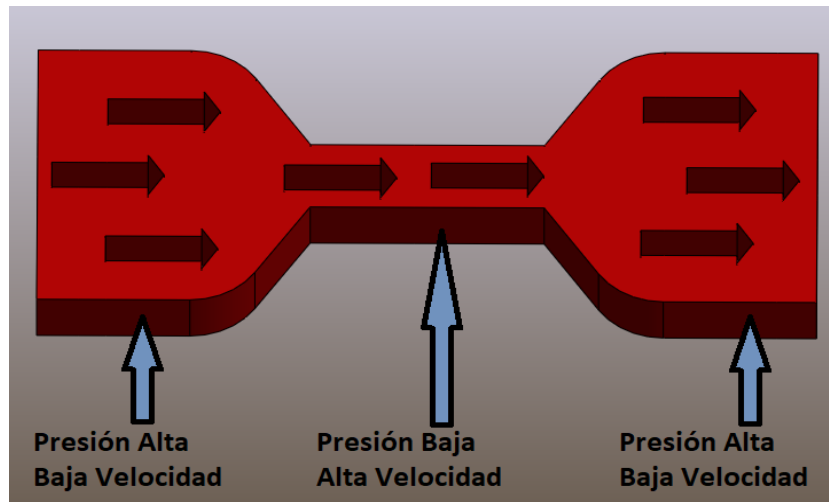
## **1.5. Marco Teórico**

### **1.5.1. Sobre el efecto y el tubo Venturi.**

Se conoce como efecto Venturi al hecho de que un fluido en movimiento dentro de un conducto cerrado, disminuye su presión al aumentar la velocidad, después de pasar por una



zona de sección menor (Física, 2018), tal como se muestra en la Fig. 1. Un uso derivado para el tubo de Venturi es el de acelerar un fluido, obligándolo a pasar por una sección estrecha en forma de cono.

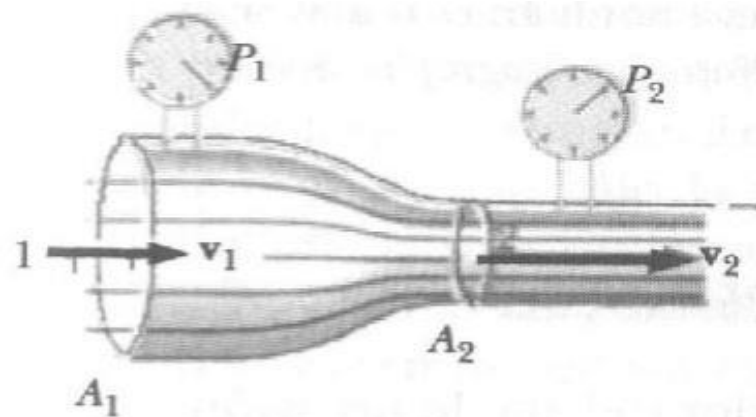


**Figura 1.** Esquema general del efecto Venturi

**Fuente:** Autores

**Elaboración:** Autores

El tubo de Venturi, es un dispositivo utilizado para medir la velocidad de un fluido incompresible. Tal como se muestra en la Fig. 2, se emplea un tubo con un estrechamiento tal, que las secciones antes y después del estrechamiento son  $A_1$  y  $A_2$ , siendo que  $A_1 > A_2$ . A través de manómetros se miden la presión a cada lado del estrechamiento ( $p_1$  y  $p_2$ ). Entonces, a partir de la ecuación de Bernoulli, la velocidad del fluido en cada una de las partes del tubo se determina en función del área de las secciones, de la densidad del fluido y de la presión del mismo, tal como la muestra la expresión (1) (Blanco Rocha, 2017).



**Figura 2.** Vista general de un tubo de Venturi

**Fuente:** Tomada de (Física, 2018)

**Elaboración:** Física, Termodinámica

$$\sqrt{\frac{P_1 + \rho g h_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 - P_2 - \rho g h_2}{\frac{1}{2} \rho}} = v_2 \quad (1)$$

En dónde,

$P$ , es la presión estática a la que está sometido el fluido, debida a las moléculas que lo rodean, (Pa).

$\rho$ , es la densidad del fluido, ( $\text{kg/m}^3$ ).

$v_1$ , es la velocidad de flujo de entrada del fluido, (m/s).

$v_2$ , es la velocidad de flujo de salida del fluido, (m/s).

$g$ , es el valor de la aceleración de la gravedad, 9.81 m/s en la superficie de la Tierra.

$h_1$ , es la altura de la entrada del tubo, (m).

$h_2$ , es la altura de la salida del tubo, (m).

La operación de un tubo de Venturi se podría ver afectada por el fenómeno de cavitación (Física, 2018), el cual se presenta si la presión en alguna sección del tubo es menor que la presión de vapor del fluido que pasa a través de éste. Durante la cavitación se generan burbujas locales, que se mueven a lo largo del tubo. Si estas burbujas alcanzan zonas de presión alta, éstas pueden colapsar produciendo picos de presión, lo que acarrea el riesgo potencial de daño mecánico de la pared del tubo.

### **1.5.2. Sobre microgeneración eólica y microgeneradores eólicos.**

En general, se considera como microgeneración a la generación eléctrica de baja potencia. En el Reino Unido, la Ley Energética de 2004 considera microgeneración al uso de unidades de generación que aprovechen únicamente biomasa, celdas de combustible, biocombustibles, celdas fotovoltaicas, los recursos de los ríos o la energía eólica, con potencias máximas de 50 KW para la generación eléctrica y de 45 KW para la producción de calor (Fernández de Alarcón Medina, 2010).

En Ecuador, se considera microgeneración a la generación eléctrica con potencias entre 5 KW y 99,99 KW (ARCONEL, 2015).

Específicamente, microgeneración eólica, o generación microeólica, esta direccionada a mercados sectoriales concretos. Por sus atributos de sencillez, adaptabilidad, costes reducidos y tecnología empleada, la microgeneración eólica se utiliza para abastecer de electricidad a consumidores aislados, cuya provisión desde una red centralizada no es viable

económicamente. La tendencia actual es provisionar a éstos consumidores a través de sistemas combinados o híbridos, que incluyen paneles fotovoltaicos, aprovechamiento de biomasa, hidrogenación, entre otras alternativas de baja potencia. Se puede lograr que los sistemas híbridos proporcionen entre el 80 y el 90% del requerimiento energético, relegando al diésel a suplir únicamente la función de emergencia (Izuriaga Zaratiegui, 2013).

Otro segmento importante de aplicación de la microgeneración eólica está relacionado a provisión eléctrica de sistemas de bombeo y drenaje, sistemas de telecomunicaciones, sistemas de iluminación en las vías públicas, entre otros; siempre con la característica común de encontrarse fuera del alcance de la red eléctrica.

Existe especial interés sobre la microgeneración eólica para el abastecimiento eléctrico en áreas naturales protegidas, debido a la producción de energía libre de agentes contaminantes que afecten el medio ambiente.

Las posibilidades de expansión del segmento microeólico son amplias, pero con diferentes potenciales en términos de ubicación geográfica y estacionales.

La construcción, operación y mantenimiento de un microgenerador eólico son sencillos. Las micromáquinas eólicas que se comercializan son diseñadas para disminuir, en lo posible, la intervención de personal técnico. La gestión de estas microestaciones se puede realizar a distancia, a través de sistemas de telecontrol y mando.

### **1.5.3. Algunas referencias sobre el aprovechamiento del efecto Venturi en proyectos de harvesting de energía eólica.**

La búsqueda bibliográfica permitió identificar al menos 3 experiencias reales en el aprovechamiento del efecto Venturi para el harvesting de energía eólica desde el ambiente: Magnus Venturi, Invelox y Energy Ball. Aunque estas experiencias no se refieren al segmento de microgeneración eólica, el equipo de trabajo decidió estudiarlas como referencia para una potencial reducción de escala en su operación.

#### **1.5.3.1. Magnus Venturi.**

Por lo general, los aerogeneradores tradicionales se ubican a la mayor altura posible, con el objetivo de capturar vientos de gran potencia. En cambio, el Magnus Venturi es un sistema ubicado al ras del piso, capaz de capturar una gran cantidad de viento e incrementar su

velocidad en una tobera convergente (ver Fig.3). El Magnus Venturi se registró en el Instituto Nacional de la Propiedad Industrial de la Argentina, en enero de 2011 (MiClubTecnológico, 2013).

En el Magnus Venturi, una compuerta movable permite el ingreso del viento desde el exterior, a través de una boca de 3 x 3 m. El viento se mueve por una tobera de 4 m de largo y sale por una boca cuadrada de 1 m de lado. Al salir, el viento activa por torsión un rotor de 2.5 m de diámetro y 0.5 m de ancho, al que se ha conectado un generador de 40 KW (La Nación, 2012).

La presión de la corriente interna puede ser encaminada al exterior, por medio de una ventana de alivio que se abre o cierra en el techo de la tobera. Una vez abierta la compuerta y cerrada la ventana de alivio, el flujo de aire va aumentando su velocidad por efecto Venturi, golpeando los alabes inferiores del rotor.



**Figura 3.** Vista general del Magnus Venturi  
**Fuente:** Tomada de (Mi Club Tecnológico, 2013)  
**Elaboración:** Mi Club Tecnológico

### **1.5.3.2. Invelox.**

Invelox es un generador que opera por el efecto de Venturi y que comercializa la empresa Sheerwind de Estados Unidos (ver Fig. 4). En su parte superior, Invelox cuenta con varias compuertas dispuestas para capturar el viento desde todas las direcciones posibles. El viento capturado pasa a través de un túnel que canaliza y acelera el aire. El viento acelerado golpea la turbina generadora que se encuentra dentro (ver Fig.5).

Se ha informado que las pruebas de desempeño mostraron que el diseño permite acelerar el viento de 16 a 64 Km/h, suficiente para activar las aspas de una turbina a 12.5 m/s, generando alrededor de 600W de potencia (Blogthinkbig & Amate, 2014).



**Figura 4.** Vista general del aerogenerador Invelox  
**Fuente:** Tomada de (Eco Inventos, 2017)  
**Elaboración:** Eco Inventos



**Figura 5.** Vista de la turbina interna del Invelox  
**Fuente:** Tomada de (Eco Inventos, 2017)  
**Elaboración:** Eco Inventos

El diseño de Invelox ha logrado reducir el costo de instalación hasta USD 750 por KW generado (El periódico de la energía, 2017); y, le permite operar con bajas velocidades de viento, registrando un índice de capacidad de producción máxima de energía de alrededor del 72% (Elias, 2017).

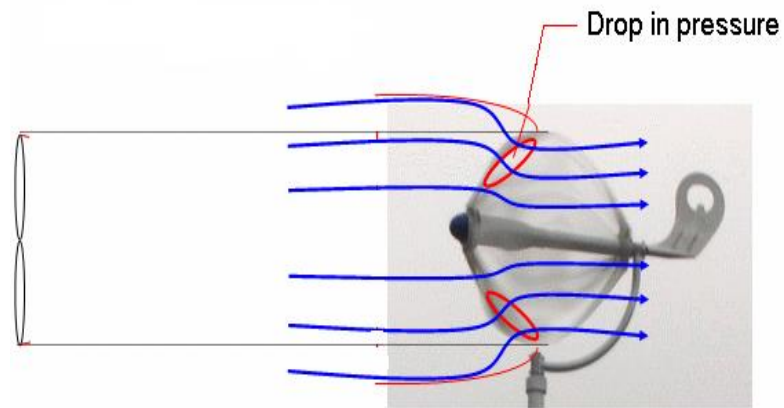
### **1.5.3.3. Energy Ball.**

Este generador fue diseñado por la empresa sueca Home Energy. En este aerogenerador, la energía se produce en una turbina esférica (ver Fig.6). En esta máquina, los extremos de las palas se encuentran instalados en el eje del rotor, que también alberga el generador eléctrico.



**Figura 6.** Vista general del aerogenerador Energy Ball  
**Fuente:** Tomada de (EI, 2014)  
**Elaboración:** EI

Esta máquina opera por un principio contrario al de las turbinas de hélice convencional. Cuando la turbina gira, las palas conectadas al rotor crean una forma esférica. Como resultado de la aerodinámica de la turbina, se crea un flujo de viento a través del rotor. El viento se recoge, converge y se acelera, como sucede con los rápidos de un río (ver Fig.7).



**Figura 7.** Principio de funcionamiento del aerogenerador Energy Ball  
**Fuente:** Tomada de (Aerogeneradores, 2011)  
**Elaboración:** Aerogeneradores

El aerogenerador Energy Ball se usa como fuente complementaria de energía (EI, 2014). Con una velocidad media de viento de 7 m/s, dependiendo del modelo, una unidad produce entre 500 y 1750 kWh/año, lo que representa entre el 35 y el 50% de la electricidad que consume un hogar promedio.

#### **1.5.4. Elección de un modelo referencial**

La búsqueda bibliográfica ha permitido demostrar la prefactibilidad de utilizar el efecto de Venturi para la generación de electricidad en zonas de clima extremo.

Considerando las prestaciones y la facilidad de construcción, el equipo de trabajo decidió seleccionar como modelo referencial al Magnus Venturi.

**CAPITULO II**  
**DISEÑO BÁSICO**



Tal como se describió en el capítulo anterior, entre las opciones identificadas para la provisión futura y neutra de energía, especial interés merece la generación de electricidad a partir del aprovechamiento microeólico.

Como resultado de la investigación previa, el equipo de trabajo adoptó como modelo referencial al aerogenerador Magnus Venturi y adaptarlo a la microgeneración eólica.

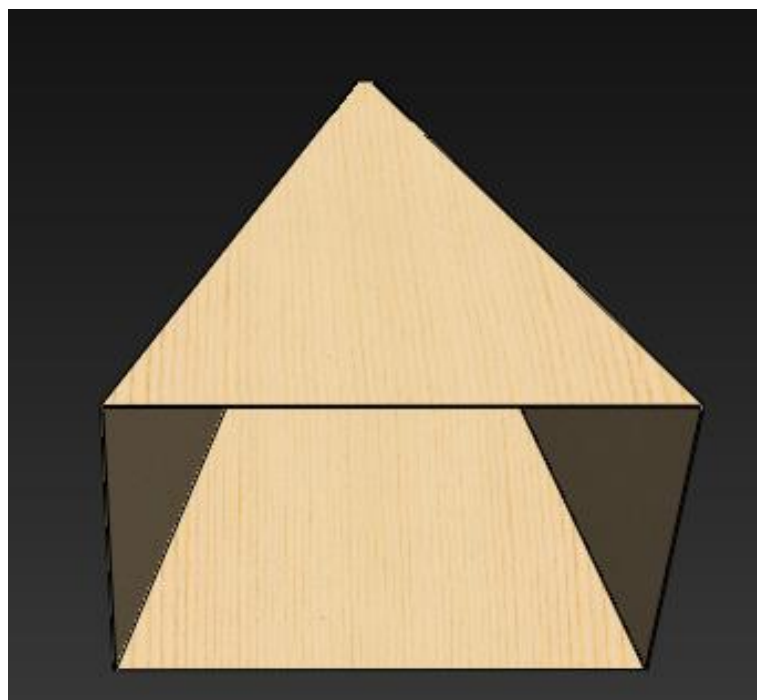
En este apartado, se describe los resultados obtenidos en la etapa de ingeniería básica o de diseño del microgenerador.

## 2.1. Metodología de diseño básico

Con la intención de profundizar en los resultados obtenidos, el equipo de trabajo decidió medir el desempeño de diferentes variaciones del modelo referencial y seleccionar la versión óptima, para las condiciones de trabajo propuestas en este proyecto.

Para este fin, se dividió el análisis entre desempeño de la estructura Venturi y desempeño del microgenerador eléctrico.

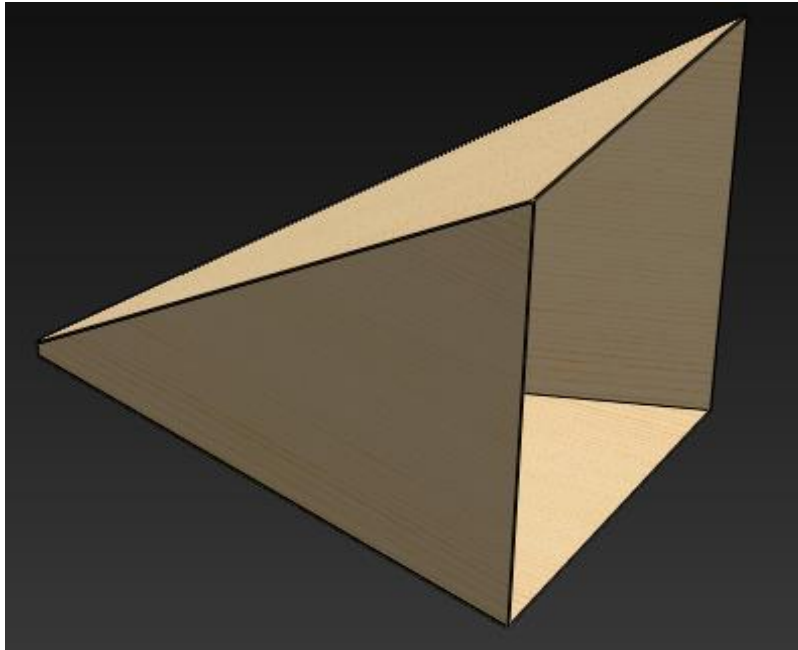
En las Fig. 8 y 9, se muestra la geometría general propuesta para la estructura Venturi. Con la intención de optimizar recursos, se decidió experimentar en ambientes simulados con diversas variaciones de esta estructura.



**Figura 8.** Vista frontal del prototipo a experimentar

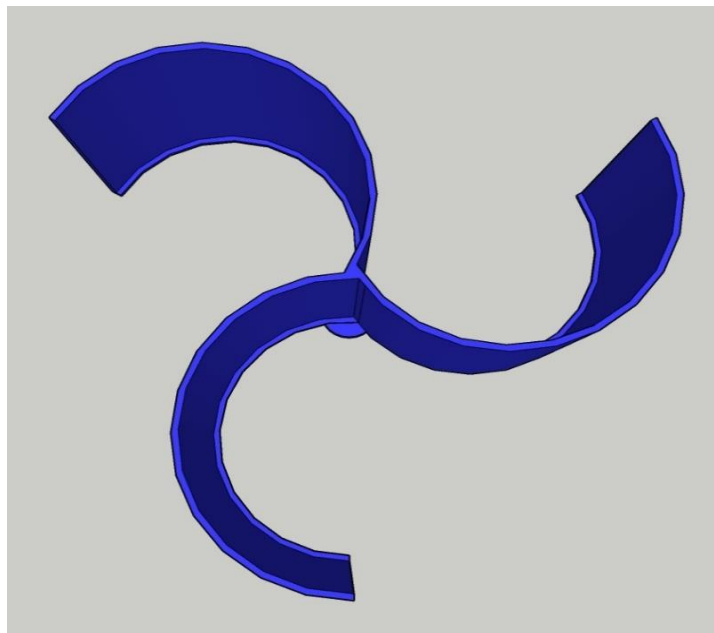
**Fuente:** Autores

**Elaboración:** Autores



**Figura 9.** Vista lateral del prototipo a experimentar  
**Fuente:** Autores  
**Elaboración:** Autores

Para medir el desempeño de microgenerador eléctrico, se decidió emplear una turbina basada en el diseño original del Magnus Venturi (ver Fig. 10). Con base a este diseño original, se experimentó con algunas variaciones.



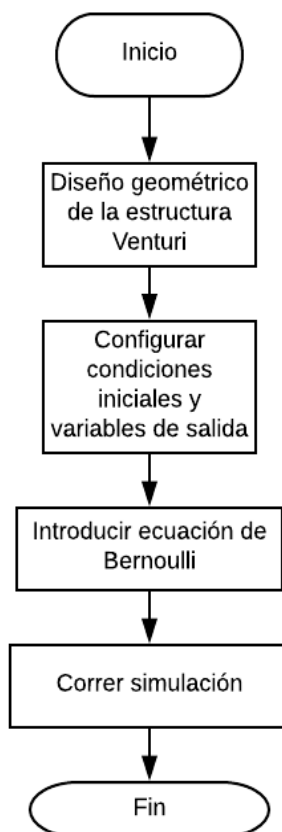
**Figura 10.** Geometría general propuesta para el microgenerador eléctrico  
**Fuente:** Autores  
**Elaboración:** Autores

## 2.2. Análisis de desempeño de la estructura Venturi

### 2.2.1. Sobre la metodología para la simulación de desempeño.

Como ambiente de trabajo, se eligió el aplicativo de simulación y modelado 3D Solid Works (Solidworks Corp., 2017). En este ambiente, existe un complemento denominado Flow Simulation, que permite simular el comportamiento de fluidos en diferentes recorridos.

La Fig. 11 muestra el algoritmo propuesto para la simulación del desempeño de las diferentes versiones de la estructura Venturi del microgenerador eólico. La primera etapa consiste en el diseño geométrico de la estructura Venturi. En la segunda, se define las variables a tomar en cuenta para el cálculo de la velocidad a la salida y se configura las condiciones iniciales para la simulación. En una tercera etapa, se introduce la ecuación de Bernoulli que regirá el comportamiento del aire al desplazarse a través de la estructura. Finalmente, se procede a poner en marcha la simulación.



**Figura 11.** Algoritmo para la simulación de desempeño de las diferentes versiones de la estructura Venturi del microgenerador eólico

**Fuente:** Autores

**Elaboración:** Autores

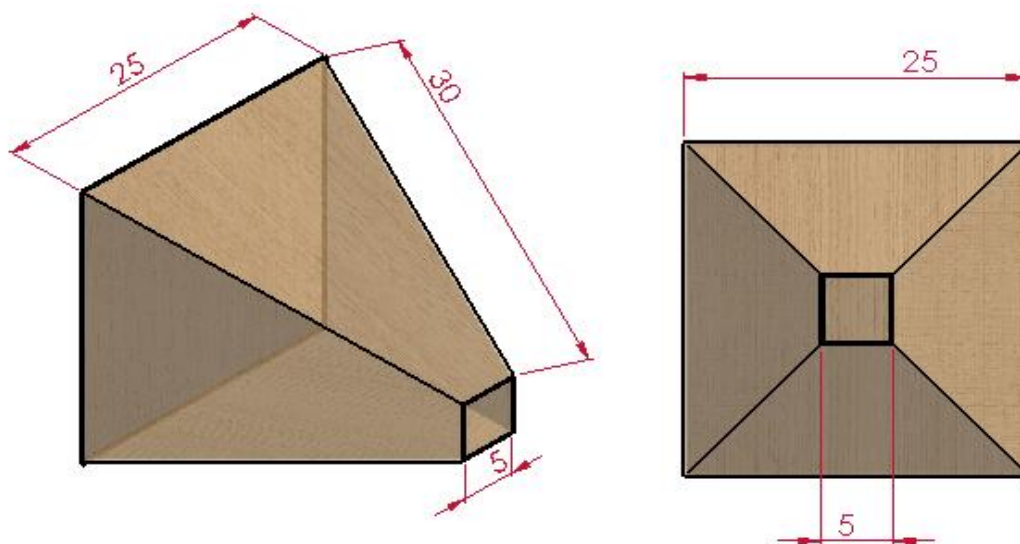
### 2.2.2. Sobre los criterios para la simulación de desempeño.

El procedimiento seguido para la simulación, se presenta en el anexo A. La simulación se realizó considerando que el diseño se sujeta al Sistema Internacional de Unidades y que el material constructivo de la estructura Venturi tiene un grosor de 2mm. Como condiciones iniciales para la simulación se fijó una velocidad inicial del aire de 1 m/s y una presión atmosférica de 1 atm (101325 Pa).

La ecuación de Bernoulli se armó a través de la definición de los denominados “objetivo de salida” o “goals”: presión estática en las caras de la tobera, densidad del fluido, velocidad de entrada a la tobera, y superficie de la entrada y salida de la tobera.

### 2.2.3. Análisis de los resultados de desempeño de las variaciones de estructura Venturi.

La geometría, en cm, de la primera variación de tobera analizada se muestra en la Fig. 12. Para una velocidad del aire en la entrada de 1m/s, la simulación presentó una velocidad de salida de 2.24 m/s.



**Figura 12.** Geometría de la primera variación de tobera simulada  
**Fuente:** Autores  
**Elaboración:** Autores

La geometría, en cm, de la segunda variación de tobera analizada se muestra en la Fig. 13. Para una velocidad del aire en la entrada de 1m/s, la simulación presentó una velocidad de salida de 2.65 m/s.

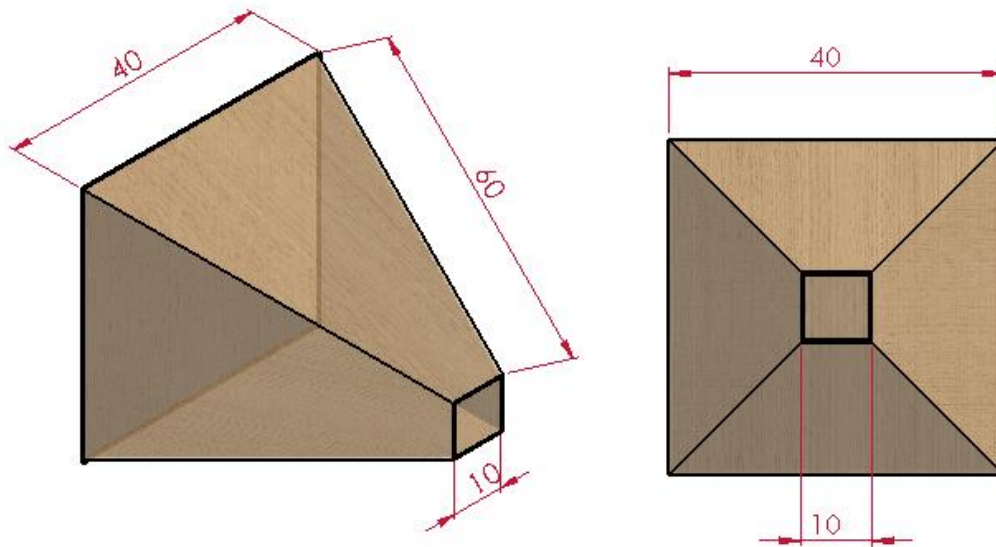


Figura 13. Geometría de la segunda variación de tobera simulada  
**Fuente:** Autores  
**Elaboración:** Autores

La geometría, en cm, de la tercera variación de tobera analizada se muestra en la Fig. 14. Para una velocidad del aire en la entrada de 1m/s, la simulación presentó una velocidad de salida de 3.03 m/s.

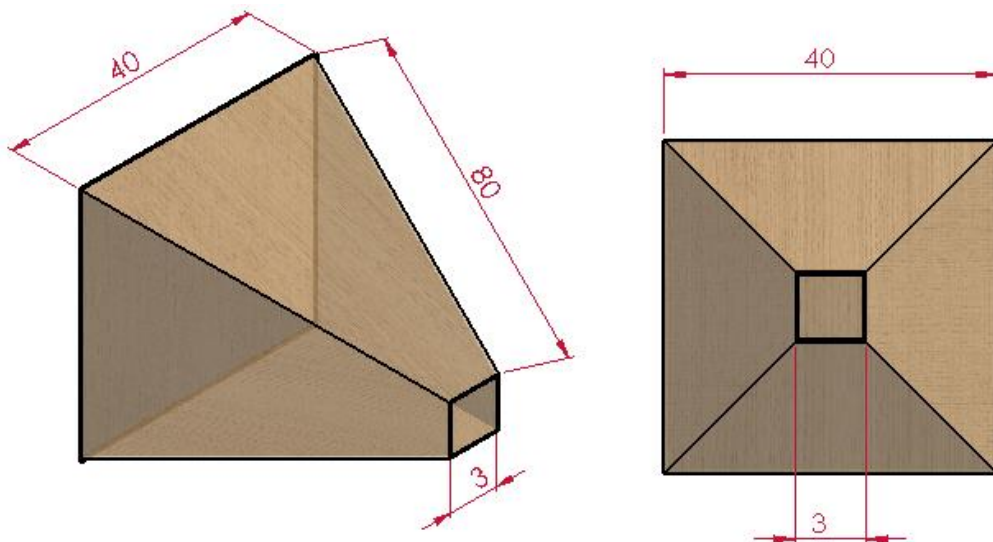
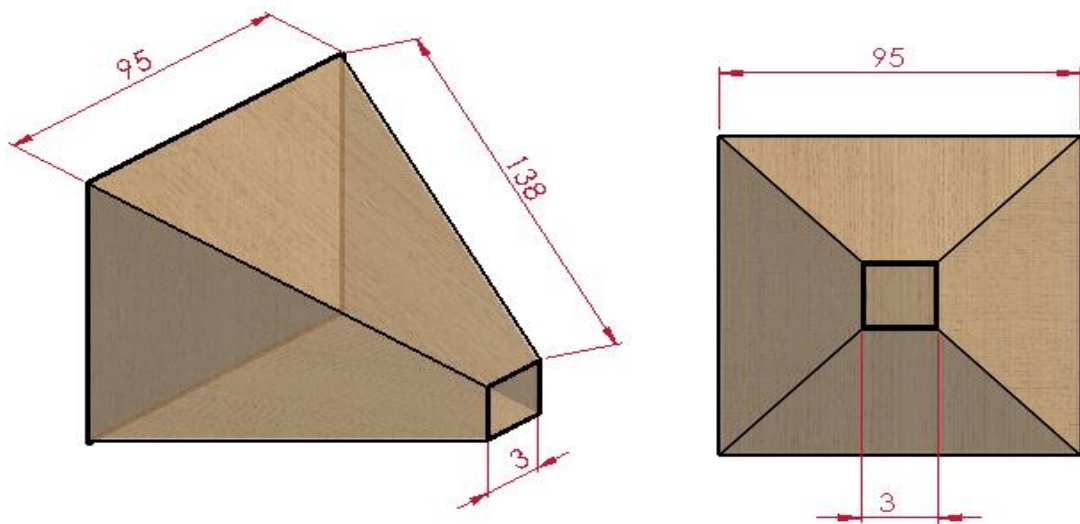


Figura 14. Geometría de la tercera variación de tobera simulada  
**Fuente:** Autores  
**Elaboración:** Autores

La geometría, en cm, de la cuarta variación de tobera analizada se muestra en la Fig. 15. Para una velocidad del aire en la entrada de 1m/s, la simulación presentó una velocidad de salida de 4.42 m/s.



**Figura 15.** Geometría de la cuarta variación de tobera simulada  
**Fuente:** Autores  
**Elaboración:** Autores

En la Tabla 1 se presenta un resumen general de las velocidades de salida determinadas por la simulación. Los resultados muestran que la variación cuarta de la tobera es la que mejor desempeño muestra.

**Tabla 1.** Resumen de velocidades de salida obtenidas en la simulación

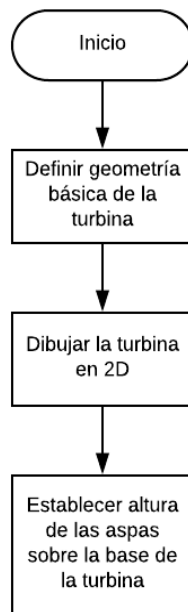
Variación de tobera	Simulación (velocidad) (m/s)	
	Inicial	Salida
1	1	2.24
2	1	2.65
3	1	3.03
4	1	4.42

**Fuente:** Autores  
**Elaboración:** Autores.

## 2.3. Análisis del desempeño del microgenerador eléctrico

### 2.3.1. Sobre la metodología para el diseño de turbinas.

Como ambiente de trabajo, se eligió el aplicativo de modelado 3D SketchUp (Trimble Inc., 2018). En la Fig. 16 se muestra el algoritmo propuesto para el diseño de turbinas. En una primera etapa se define la geometría básica de la turbina. En la segunda, se dibuja la turbina en 2D. Finalmente, se establece la altura de las aspas sobre la base. El procedimiento de diseño en el ambiente, se describe en el anexo B.



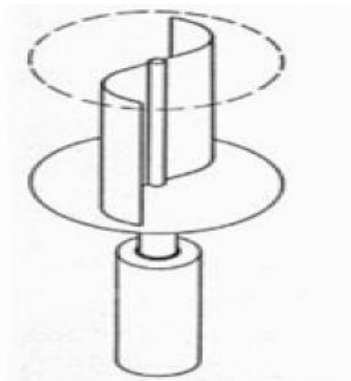
**Figura 16.** Algoritmo para el diseño de los diferentes modelos de turbinas para el microgenerador

**Fuente:** Autores

**Elaboración:** Autores

### 2.3.2. Diseño de turbinas del microgenerador.

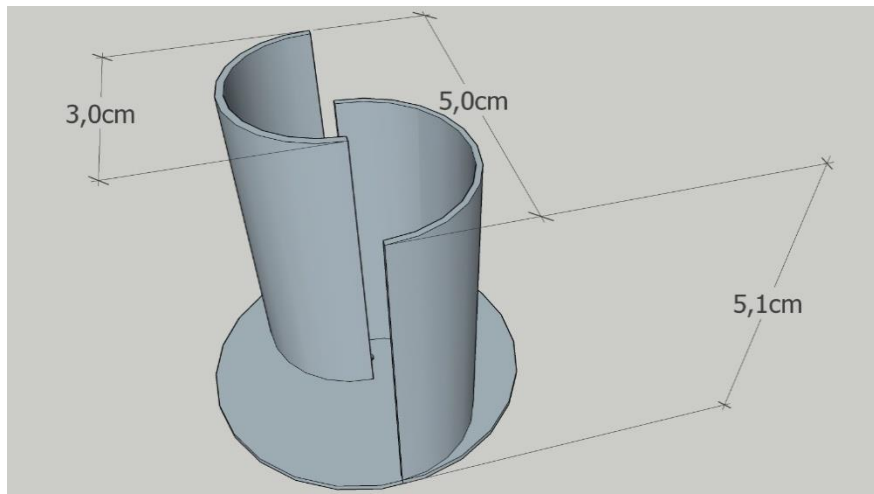
La primera turbina diseñada correspondió a una de dos álabes semicirculares de exposición frontal (ver Fig. 17). Esta geometría de turbina tiene dos álabes semicirculares, ubicados con 180 grados de separación uno respecto al otro. La Fig. 18 muestra el diseño realizado por el grupo de trabajo, considerando la escala de la tobera óptima. Sobre una base se asientan dos álabes semicirculares, que se elevan 5,1cm sobre ella, y que tienen un diámetro de circunferencia de 3cm.



**Figura 17.** Vista general de una turbina con álabes semicirculares

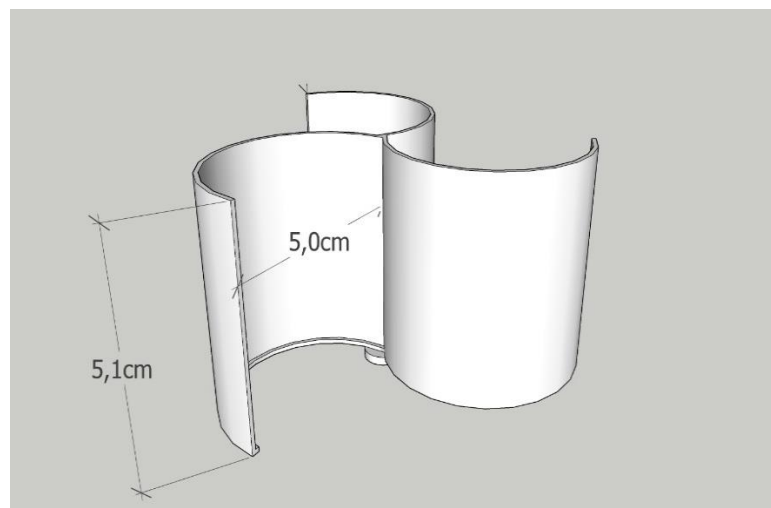
**Fuente:** Tomada de (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, 2010)

**Elaboración:** Instituto Nacional de Investigaciones Forestales,2010



**Figura 18.** Diseño 3D de la turbina con álabes semicirculares  
**Fuente:** Autores  
**Elaboración:** Autores

El segundo modelo diseñado fue el de una turbina centrípeta de álabes curvos. Este tipo de turbina tiene tres álabes curvos, ubicados a 120 grados de separación, uno del otro (Rivas, 2003). La Fig. 19 muestra el diseño 3D de la turbina. Sobre una base circular se asientan tres álabes, que se elevan 5,1cm sobre ella y cuyo diámetro de circunferencia es de 5cm.

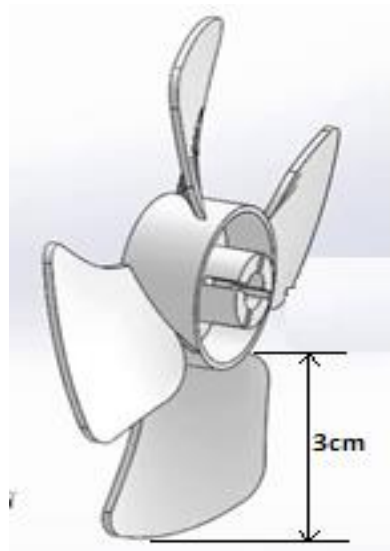


**Figura 19.** Diseño 3D de la turbina con tres álabes curvos  
**Fuente:** Autores  
**Elaboración:** Autores

El tercer modelo diseñado fue el de una turbina centrífuga de álabes curvados hacia atrás. Esta turbina tiene cuatro álabes curvos inclinados en sentido contrario a la rotación. Cada álabes se ubica a 90 grados de separación uno respecto al otro. Este tipo de turbina es la de mayor velocidad periférica y es la más empleada en los ventiladores comunes (EcuRed,



2018). La Fig. 20 muestra el diseño 3D de la turbina. Sobre un eje circular se ubican cuatro álabes de una longitud de 3 cm de largo cada uno.



**Figura 20.** Diseño 3D de la turbina con álabes curvos hacia atrás

**Fuente:** Autores

**Elaboración:** Autores

La evaluación de desempeño de las turbinas y del microgenerador eléctrico se realizó en la fase de ingeniería de detalle y se explica en el siguiente capítulo.

Para concluir con este apartado, se puede decir que:

- En la fase de ingeniería básica del proyecto, se estableció la metodología y el procedimiento para el diseño, construcción y evaluación de desempeño de la estructura Venturi del sistema.
- También se estableció la metodología y el procedimiento para el diseño, y construcción de diferentes turbinas que forman parte del microgenerador eléctrico.

## **CAPÍTULO III**

### **INGENIERÍA DE DETALLE Y EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO**

En este documento, se describe los resultados obtenidos en la etapa de ingeniería de detalle de un microgenerador eólico, diseñado bajo el paradigma del proyecto Magnus Venturi.

### **3.1. Sobre el abordaje de la etapa de ingeniería de detalle**

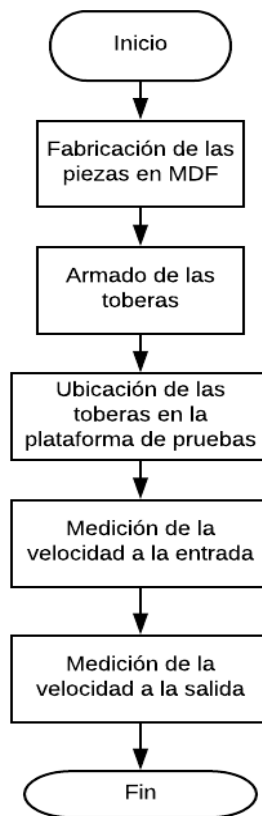
En esta etapa del proyecto, el equipo de trabajo decidió abordar el diseño a detalle en dos frentes: tobera y turbina. Esta decisión obedece a las limitaciones en cuanto al acceso de microgeneradores eléctricos en el mercado local.

Para la tobera y turbina se construyeron algunas variaciones y se analizó su desempeño.

#### **3.1.1. Ingeniería de detalle de la tobera.**

En esta fase, con base a los resultados de la simulación de desempeño, se construyeron cuatro toberas, que fueron evaluadas en cuanto a la aceleración que podían proporcionar al viento que ingresaba en ellas.

La Fig. 21 muestra el flujograma de actividades planificadas en esta fase. Las toberas fueron construidas con tableros de densidad media o MDF por sus siglas en inglés. Para las pruebas de desempeño se improvisó una estación de trabajo en la plataforma de un vehículo pickup (ver Fig. 22) y se empleó un anemómetro digital KKMOON GM8908 (ver Fig. 23), cuya hoja técnica se muestra en el Anexo C (KKMOON, 2018).



**Figura 21.** Flujograma de actividades en la fase de ingeniería de detalle de las toberas del prototipo  
**Fuente:** Autores  
**Elaboración:** Autores

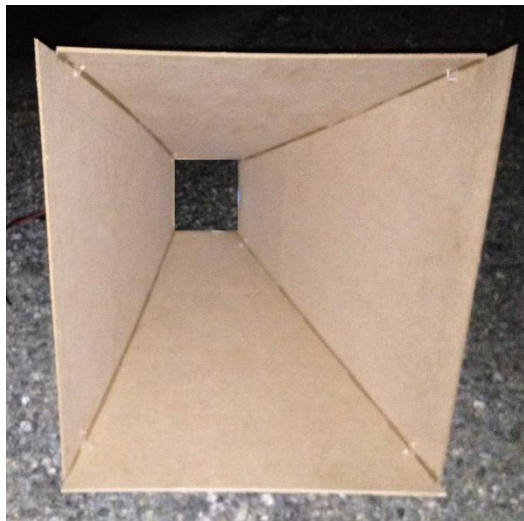


**Figura 22.** Vista general de la estación de trabajo improvisada para medir el desempeño de las toberas del prototipo  
**Fuente:** Autores  
**Elaboración:** Autores



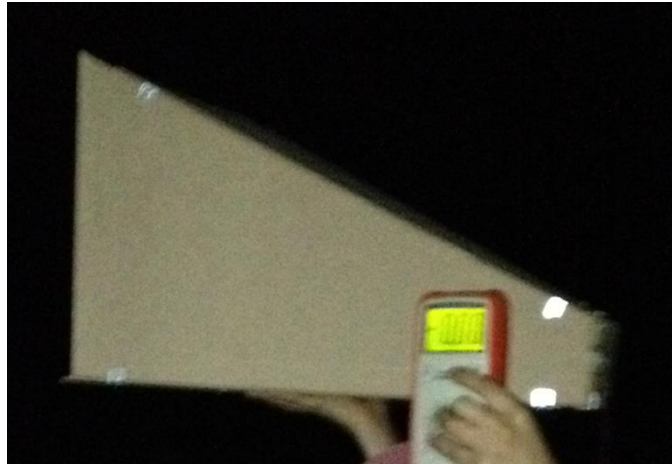
**Figura 23.** Vista general del anemómetro digital KKmoon GM8908  
**Fuente:** Tomada de (KKMOON, 2018)  
**Elaboración:** KKMOON

La Fig. 24 muestra una vista general de la primera tobera construida. La entrada de esta tobera fue de 30 x 30 cm, mientras que la salida fue de 5 x 5 cm. La longitud total de la tobera, fue de 30 cm. La evaluación de desempeño de modelo no presento resultados positivos, ya que las velocidades medidas en la entrada y la salida no diferían significativamente.



**Figura 24.** Vista general de la primera tobera fabricada  
**Fuente:** Autores  
**Elaboración:** Autores

El segundo prototipo fabricado correspondió a una tobera de 40 x 40 cm en la entrada, 10 x 10cm en la salida, y un largo de la tobera de 60 cm (ver Fig. 25). La evaluación de desempeño tampoco arrojó resultados positivos.



**Figura 25.** Vista general de la segunda tobera fabricada  
**Fuente:** Autores  
**Elaboración:** Autores

La simulación de desempeño y las mediciones reales, permitieron identificar como una de las causas de la poca aceleración del viento en los prototipos uno y dos, al bajo valor de la razón entre el área de entrada y de salida (36 y 16 en los prototipos 1 y 2 respectivamente). Por esta razón, se construyó una tercera tobera de 40 x 40 cm en la entrada, 3 x 3 cm en la salida, y un largo de tobera de 80 cm (ver Fig. 26). En este prototipo la razón entre el área de entrada y de salida subió a 178. La experimentación de campo, permitió determinar que para una velocidad de entrada de 1 m/s se podría alcanzar una velocidad de salida de 1.6 m/s.



**Figura 26.** Vista general de la tercera tobera fabricada  
**Fuente:** Autores  
**Elaboración:** Autores

Una cuarta tobera fue construida, con una entrada de 95 x 95 cm, una salida de 3 x 3 cm, y un largo de 1.38 m (ver Fig. 27). En este prototipo la razón entre el área de entrada y de salida

subió a 1003. Las pruebas de desempeño mostraron que el viento podría alcanzar a la salida velocidades de 3.4 m/s.



**Figura 27.** Vista general de la cuarta tobera fabricada

**Fuente:** Autores

**Elaboración:** Autores

La Tabla 2 resume los resultados obtenidos en las pruebas de desempeño de los cuatro prototipos. Aunque los registros obtenidos en las pruebas de simulación y de campo difieren considerablemente, el mejor desempeño se obtiene para la geometría del cuarto prototipo.

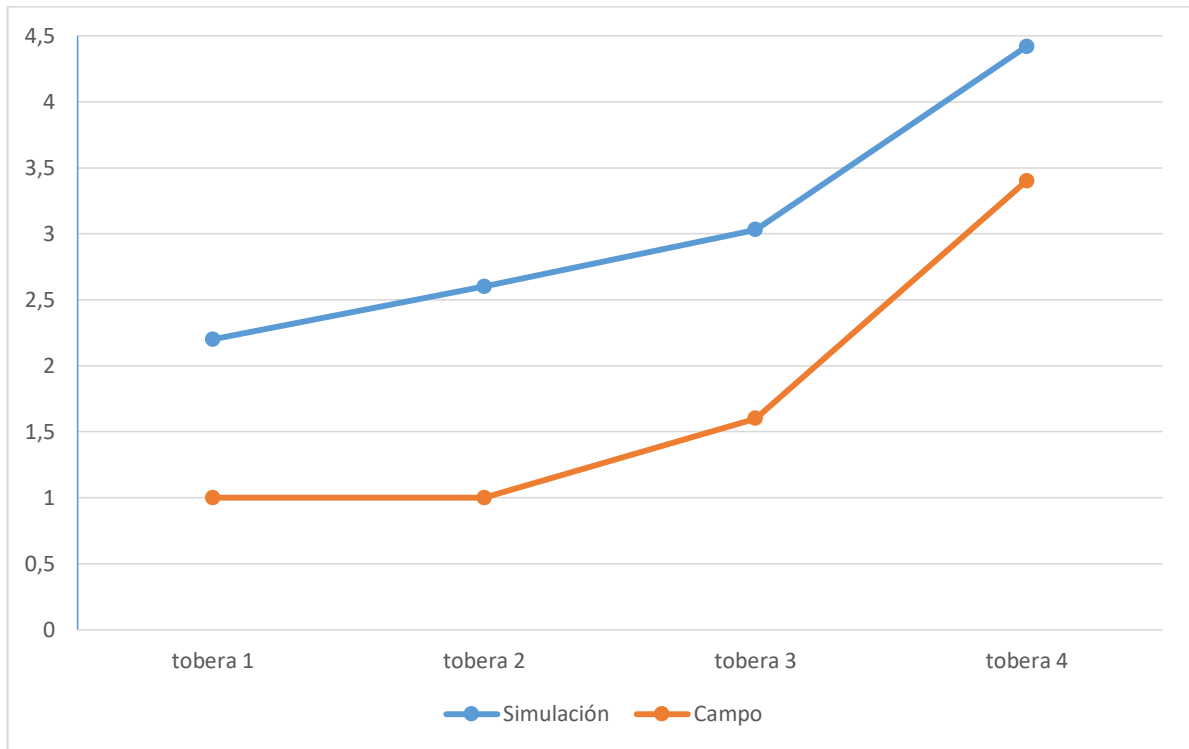
**Tabla 2.** Velocidades obtenidas en simulación y en pruebas de campo

Prototipo	Velocidades en simulación, m/s		Velocidades en campo, m/s	
	Inicial	Salida	Inicial	Salida
1	1	2.2	1	1
2	1	2.6	1	1
3	1	3.03	1	1.6
4	1	4.42	1	3.4

**Fuente:** Autores

**Elaboración:** Autores

En la Fig. 28 se puede observar de mejor manera la diferencia de los resultados obtenidos para la velocidad de salida en las simulaciones realizadas en base al fundamento teórico y las velocidades medidas en campo. Como se puede apreciar, los valores en simulación son mayores a los valores registrados en la evaluación de campo, esto se da en los cuatro prototipos construidos.



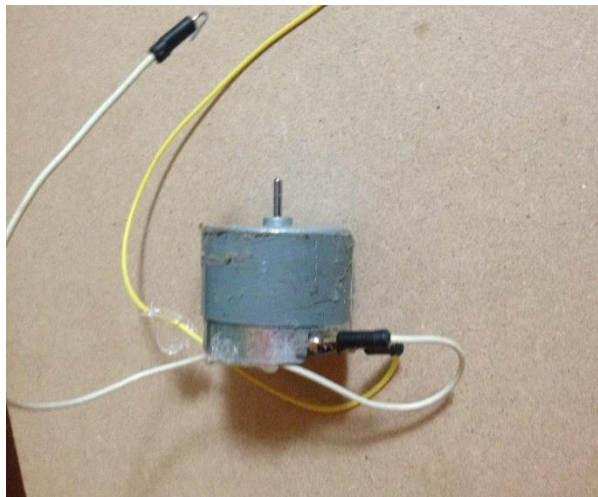
**Figura 28.** Velocidades simuladas y medidas a la salida de las toberas

**Fuente:** Autores

**Elaboración:** Autores

### 3.1.2. Ingeniería de detalle de la turbina

En el mercado local es mínimo el acceso a microgeneradores eléctricos, por lo que se decidió utilizar un motor-generator DC de 12V (ver Fig. 29), cuyas especificaciones técnicas se detallan en el Anexo D (Alibaba.com, 2018a).



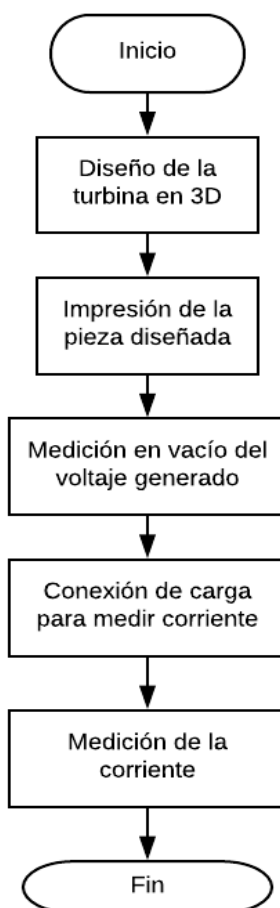
**Figura 29.** Motor DC de 12V usado como microgenerador eléctrico en el proyecto

**Fuente:** Autores

**Elaboración:** Autores



En este marco, se resolvió experimentar con diversos tipos de turbina a fin de lograr la mayor velocidad de rotación posible en el eje del generador. La Fig. 30 muestra el flujograma de actividades planificadas en esta fase. Cada tipo de turbina fue diseñado, impreso en 3D y validado en su desempeño.

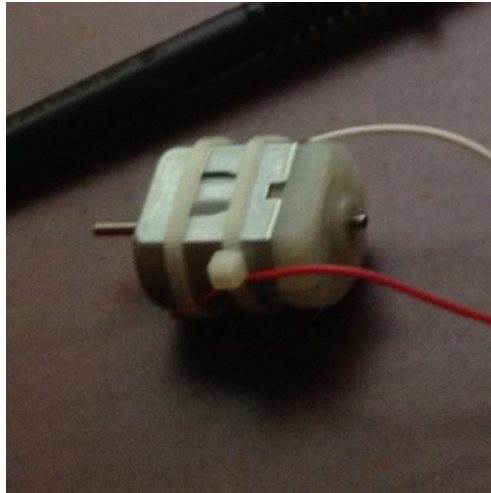


**Figura 30.** Flujograma de actividades en la fase de ingeniería de detalle de las turbinas del prototipo

**Fuente:** Autores

**Elaboración:** Autores

Para la validación del desempeño de la turbina, esta se montó sobre el eje del microgenerador eléctrico y se midió el voltaje en vacío y la corriente con carga. Para esto se montó un circuito de carga, constituido por un motor DC de 3 V (ver Fig.31). Para el registro de voltaje y corriente se utilizó un multímetro Proskit 3PK-8200G (ver Fig. 32), cuyas especificaciones se muestran en el Anexo E (Alibaba.com, 2018b).



**Figura 31.** Vista general del motor DC de 3V utilizado como carga para medir la corriente generada en el microgenerador

**Fuente:** Autores

**Elaboración:** Autores



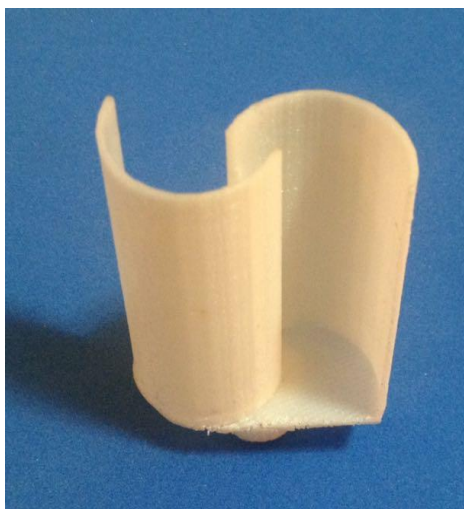
**Figura 32.** Vista general del multímetro ProsKit 3PK-8200G utilizado para las mediciones de corriente y voltaje

**Fuente:** Autores

**Elaboración:** Autores

La primera turbina diseñada y construida correspondió a una de dos álabes semicirculares de exposición frontal. Esta geometría de turbina tiene dos álabes semicirculares, ubicados con 180 grados de separación uno respecto al otro. Sobre una base se asientan dos álabes semicirculares que se elevan 5,1cm sobre ella.

La fabricación de la pieza en una impresora 3D se realizó empleando filamento plástico, por cuanto este tipo de material reduce el peso de la turbina y facilita el giro. La Fig. 33 muestra una vista general de la turbina impresa.



**Figura 33.** Vista general de la turbina con álabes semicirculares impresa

**Fuente:** Autores

**Elaboración:** Autores

La evaluación de desempeño se realizó utilizando la corriente de aire proporcionada por una secadora de cabello. Dadas las prestaciones de la secadora, se decidió analizar los resultados para una velocidad de aire de 8 m/s. Para la turbina de álabes semicirculares, el voltaje en vacío máximo registrado entre los bornes de generador fue de 2.21 V, mientras que la corriente con carga alcanzó los 10 mA, con una potencia estimada de 22.10 mW.

El segundo modelo evaluado fue el de una turbina centrípeta de álabes curvos. Este tipo de turbina tiene tres álabes curvos, ubicados a 120 grados de separación, uno del otro (Rivas, 2003). Sobre una base circular se asientan tres álabes, que se elevan 5,1cm sobre ella. La Fig. 34 muestra la turbina impresa. Para ésta turbina, el voltaje en vacío máximo registrado entre los bornes de generador fue de 1.04 V, mientras que la corriente con carga alcanzó los 10 mA, con una potencia estimada de 10.40 mW.



**Figura 34.** Vista general de la turbina con tres álabes curvos impresa  
**Fuente:** Autores  
**Elaboración:** Autores

El tercer modelo evaluado fue el de una turbina centrífuga de álabes curvados hacia atrás. Esta turbina tiene cuatro álabes curvos inclinados en sentido contrario a la rotación. Cada álabes se ubica a 90 grados de separación uno respecto al otro. Este tipo de turbina es la de mayor velocidad periférica y es la más empleada en los ventiladores comunes (EcuRed, 2018). Sobre un eje circular se ubican cuatro álabes de una longitud de 3cm. Esta pieza no se imprimió por cuanto fue adquirida en una tienda de implementos electrónicos (ver Fig. 35). Para ésta turbina, el voltaje en vacío máximo registrado entre los bornes de generador fue de 4.36 V, mientras que la corriente con carga alcanzó los 10 mA, con una potencia estimada de 43.60 mW.



**Figura 35.** Vista general de la turbina con álabes curvos hacia atrás adquirida  
**Fuente:** Autores  
**Elaboración:** Autores

La Tabla 3 muestra un resumen del desempeño de cada una de las cuatro turbinas. Las mejores prestaciones se dan para la turbina centrífuga con álabes curvados hacia atrás.

**Tabla 3.** Resultados obtenidos con las diferentes turbinas implementadas

Turbina	Voltaje en vacío, V	Corriente con carga, mA	Potencia estimada, mW
1	2.21	10	22.1
2	1.04	10	10.4
3	4.36	10	43.6

**Fuente:** Autores

**Elaboración:** Autores

### 3.2. Ensamblaje y evaluación de desempeño del microaerogenerador

El microaerogenerador ensamblado se montó sobre la plataforma de pruebas, tal como lo muestra la Fig. 36.



**Figura 36.** Vista general del microaerogenerador montado en la plataforma de pruebas

**Fuente:** Autores

**Elaboración:** Autores

La evaluación de desempeño del microaerogenerador se realizó en dos experimentos: microgenerador sin tobera (ver Tabla 4) y microgenerador con tobera instalada (ver Tabla 5). En ambas pruebas, se registró voltaje y corriente para diferentes velocidades de viento. Los resultados obtenidos se expresaron como potencia.

**Tabla 4.** Resultados obtenidos en el microgenerador sin tobera

Velocidad de entrada, m/s	Voltaje en vacío, V	Corriente con carga, mA	Potencia estimada, mW
3.0	0.70	10	7.0
3.5	0.89	10	8.9
4.0	0.95	10	9.5
4.5	1.64	10	16.4
5.0	2.11	10	21.1
5.5	2.37	10	23.7
6.0	2.82	10	28.2
6.5	3.58	10	35.8
7.0	3.79	10	37.9
7.5	4.20	10	42.0
8.0	4.36	10	43.6

Fuente: Autores

Elaboración: Autores

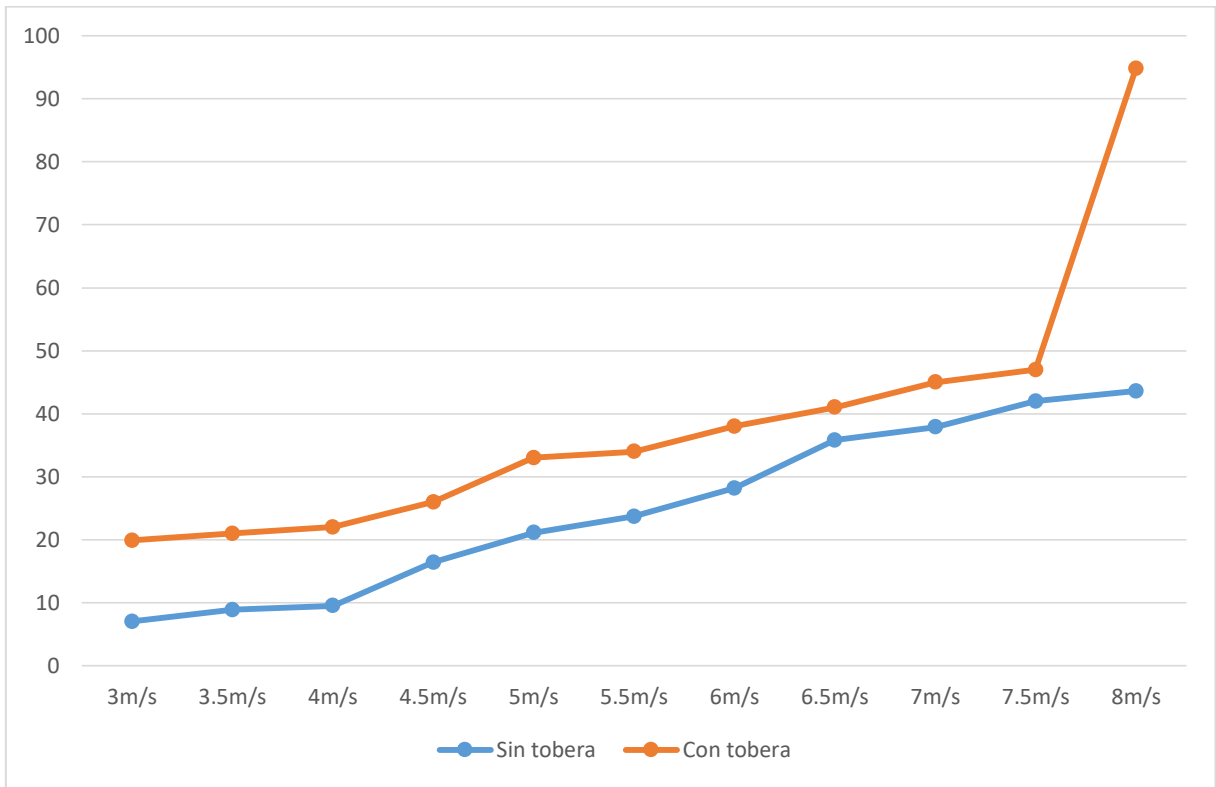
**Tabla 5.** Resultados obtenidos en el microgenerador con tobera

Velocidad de entrada, m/s	Voltaje en vacío, V	Corriente con carga, mA	Potencia estimada, mW
3.0	1.99	10	19.9
3.5	2.10	10	21.0
4.0	2.20	10	22.0
4.5	2.60	10	26.0
5.0	3.30	10	33.0
5.5	3.40	10	34.0
6.0	3.80	10	38.0
6.5	4.10	10	41.0
7.0	4.50	10	45.0
7.5	4.70	10	47.0
8.0	4.74	20	94.8

Fuente: Autores

Elaboración: Autores

Los resultados muestran que el desempeño del microgenerador se incrementa en un 80% con uso de la tobera. Para velocidades de viento superiores a los 7.5 m/s, el incremento es exponencial (ver Fig. 37).



**Figura 37.** Potencia proporcionada por el aerogenerador evaluado con tobera y sin tobera

**Fuente:** Autores

**Elaboración:** Autores

## CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos permiten afirmar que el desempeño de la estructura Venturi mejora con el aumento de las dimensiones de ésta.
- En el aspecto de las dimensiones, la mayor influencia se percibe de la relación entre las medidas de la entrada y la salida de la tobera. A mayor relación, mayor es la aceleración del viento en la tobera.
- El uso de la tobera aumenta el desempeño del microgenerador en un 80%. Para velocidades de viento superiores a los 7.5 m/s, el incremento es exponencial.
- Finalmente, se comprobó que las variables simuladas y medidas difieren considerablemente. El equipo de trabajo concluyó que la diferencia se basa en el número de magnitudes que intervienen en la simulación y en el mundo real.



## RECOMENDACIONES

- Para un mejor aprovechamiento del dispositivo harvesting se recomienda que en futuros trabajos se implemente un sistema para guiar la tobera en dirección a las ráfagas de viento.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aerogeneradores. (2011). Energía Eólica Y Aerogeneradores. Retrieved February 20, 2018, from <http://aerogeneradores-energia-eolica.blogspot.com/2011/07/energia-eolica-casera.html>
- Alibaba.com. (2018a). 12v High Speed Dc Motor. Retrieved February 20, 2018, from [https://www.alibaba.com/product-detail/DZ-370-6V-12V-24V-high\\_1496346934.html?spm=a2700.7724838.2017115.47.2f7a3458q4rJql](https://www.alibaba.com/product-detail/DZ-370-6V-12V-24V-high_1496346934.html?spm=a2700.7724838.2017115.47.2f7a3458q4rJql)
- Alibaba.com. (2018b). 3 1/2 Dmm W/mechanical Prevent Mistaken Operation Pro'skit 3pk-8200g. Retrieved February 20, 2018, from [https://www.alibaba.com/product-detail/3-1-2-DMM-w-Mechanical\\_109143161.html](https://www.alibaba.com/product-detail/3-1-2-DMM-w-Mechanical_109143161.html)
- ARCONEL. (2015). Inventario De Recursos Energéticos Del Ecuador Con Fines De Producción Eléctrica – 2015 Presentación. *Agencia de Regulación y Control de Electricidad*, 17. Retrieved from <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/11/Presentación-y-contenido-Inventario-Recursos-Energéticos-2015.pdf>
- Blanco Rocha, T. G. (2017). *Construcción de un prototipo para mejorar la eficiencia energética*.
- Blogthinkbig, & Amate, C. (2014). Invelox produce un 600% más energía que un molino de viento convencional. Retrieved February 20, 2018, from <https://blogthinkbig.com/invelox-molino-de-viento>
- Eco Inventos. (2017). Nueva turbina eólica en forma de túnel que puede generar el 600 % más de energía que las convencionales. Retrieved February 20, 2018, from <https://ecoinventos.com/invelox/>
- EcuRed. (2018). Ventiladores centrífugos. Retrieved February 20, 2018, from [https://www.ecured.cu/Ventiladores\\_centrifugos](https://www.ecured.cu/Ventiladores_centrifugos)
- EI. (2014). Principio de Funcionamiento de Energy Ball (Principio Venturi). Retrieved February 20, 2018, from <http://www.energiasinteligentes.com/noticias/4/principio-de-funcionamiento-de-energy-ball-principio-venturi>
- El periódico de la energía. (2017). Invelox, la nueva turbina eólica con forma de bombilla que puede generar un 600% más que los aerogeneradores actuales. Retrieved February 20, 2018, from <https://elperiodicodelaenergia.com/invelox-la-nueva-turbina-eolica-con->

- forma-de-bombilla-que-puede-generar-un-600-mas-que-los-aerogeneradores-actuales/
- Elias, J. (2017). Desarrollo y Defensa. Retrieved February 20, 2018, from <http://desarrolloydefensa.blogspot.com/search?updated-max=2017-05-04T02:24:00-07:00&max-results=22&reverse-paginate=true&start=37&by-date=false>
- Fernández de Alarcón Medina, J. (2010). Estudio de los sistemas de microgeneración en España. Retrieved from <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/10860>
- Física, T. (2018). EFECTO VENTURI. Retrieved February 20, 2018, from <https://hernanleon1002.wordpress.com/fisica-de-fluidos-y-termodinamica/segundo-corte/marco-teorico/efecto-venturi/>
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, A. y P. (Mexico). (2010). *Revista mexicana de ciencias agrícolas. Revista mexicana de ciencias agrícolas* (Vol. 3). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Retrieved from [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342012000900002](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342012000900002)
- Izuriaga Zaratiegui, E. (2013). *GREEN VILLAGE :Cálculo de necesidades energéticas y diseño de una microrred con energías renovables*. Retrieved from <http://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/8903/578183.pdf?sequence=1>
- KKMOON. (2018). Anemometer KKmoon GM8908. Retrieved from <https://www.kkmoon.com/p-h4327.html>
- La Nación. (2012). Un innovador generador eólico con sello argentino. Retrieved February 20, 2018, from <https://www.lanacion.com.ar/1477119-un-innovador-generador-eolico-con-sello-argentino>
- Mi Club Tecnológico. (2013). Un novedoso generador eólico creado en Argentina. Retrieved February 20, 2018, from <http://www.miclubtecnologico.com.ar/blog/un-novedoso-generador-eolico-made-argentina/>
- MiClubTecnológico. (2013). Un novedoso generador eólico creado en Argentina - Mi Club Tecnológico. Retrieved February 20, 2018, from <http://www.miclubtecnologico.com.ar/blog/un-novedoso-generador-eolico-made-argentina/>
- Rivas, A. G. (2003). MOTORES DE TURBINA DE GAS TURBINAS Funcionamiento y Características de Diferentes Tipos de Álabes de Turbina, 62–71.

Solidworks Corp. (2017). SOLIDWORKS® 2017. Retrieved from <https://launch.solidworks.com/>

Trimble Inc. (2018). SketchUp. Retrieved from <https://www.sketchup.com/es>

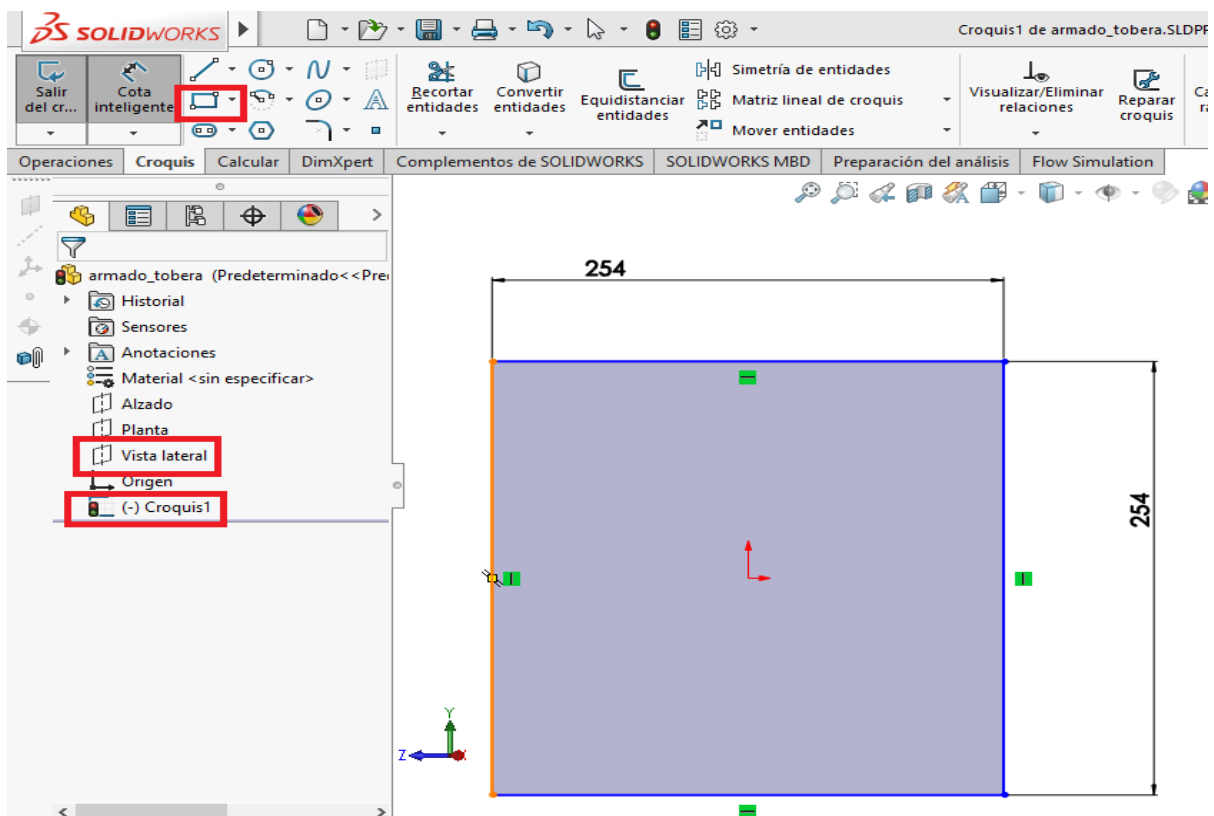
## **ANEXOS**

## ANEXO A

**Procedimiento de simulación del desempeño de la estructura venturi del microgenerador.**

### - Construcción de la estructura Venturi.

Para empezar con la construcción de la tobera, se abre el aplicativo Solid Works y se crea una nueva “pieza”. Luego, se ubica en “vista lateral” “croquis”, y se dibuja un cuadrado con las medidas de la entrada de la tobera (ver Fig. 1). A estas medidas, se le suma 4mm considerando que el espesor del material de la pieza será de 2mm.

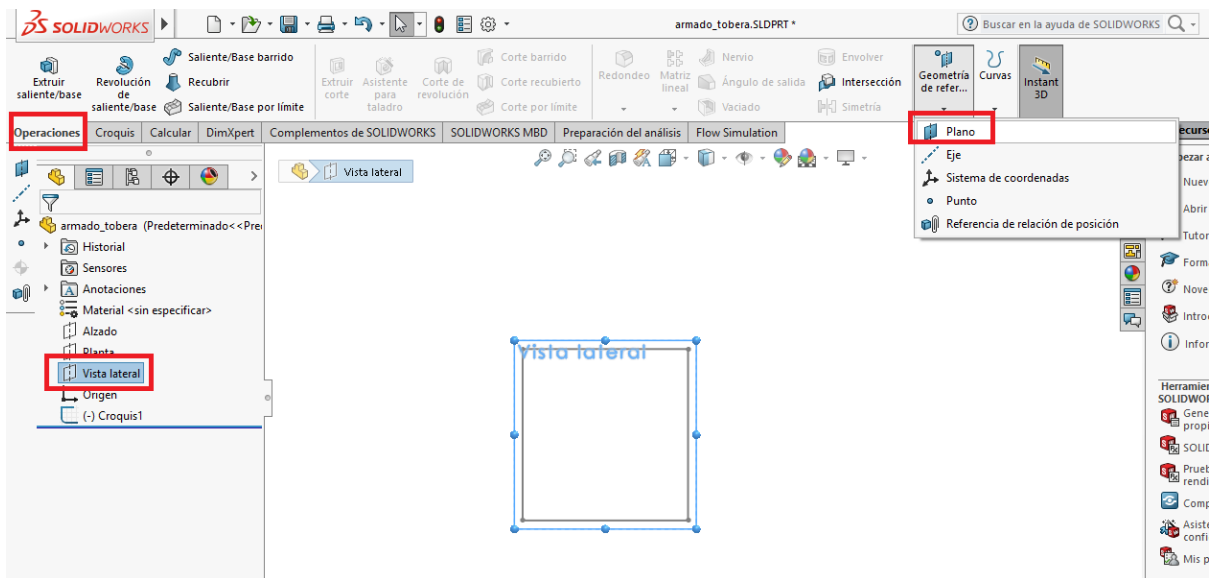


**Fig. 1.** Creación de la entrada de la tobera

**Fuente:** Autores

**Elaboración:** Autores

Después de dibujada la entrada de la tobera, se selecciona “vista lateral” “operaciones” “geometría de referencia” “plano”, esto para proceder a dibujar en ese plano, la salida de la tobera (ver Fig. 2).

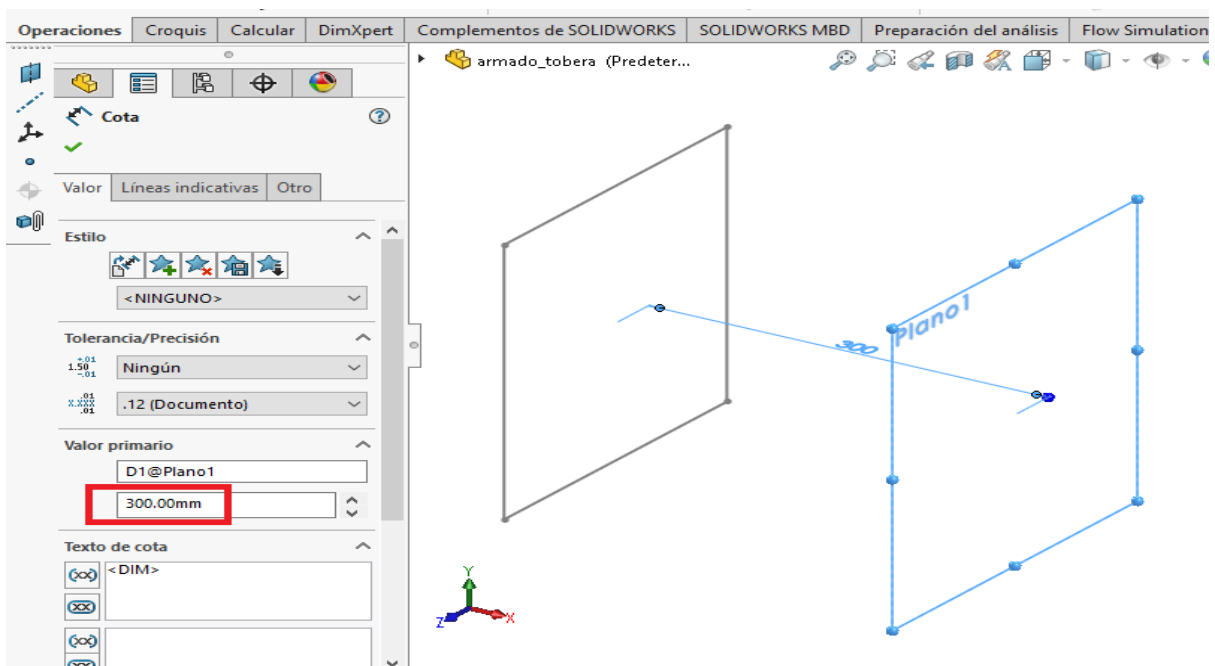


**Fig. 2.** Creación de un plano para dibujar la salida de la tobera

**Fuente:** Autores

**Elaboración:** Autores

Una vez que se tiene el nuevo plano, se configura la distancia que tendrá éste con la entrada de la tobera; es decir, se establece la separación entre la entrada y la salida de la tobera (ver Fig. 3).



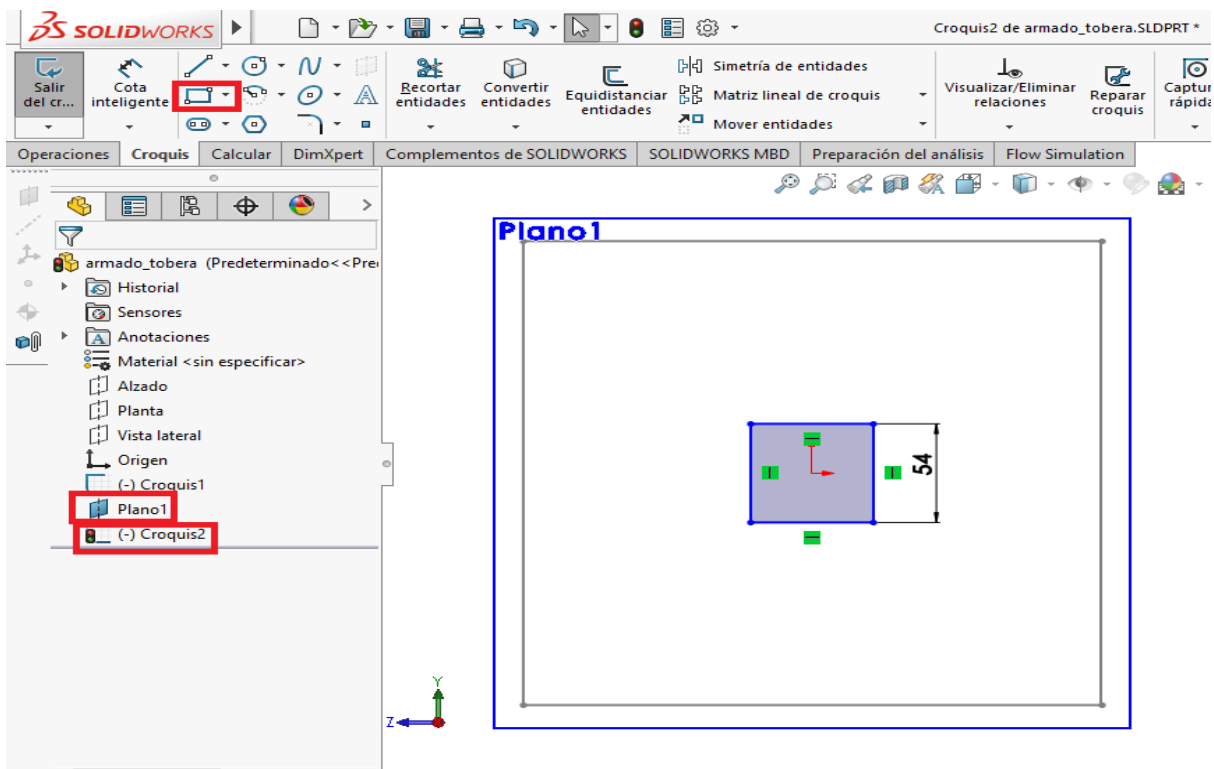
**Fig. 3.** Configuración de la distancia entre la entrada y salida de la tobera

**Fuente:** Autores

**Elaboración:** Autores

Cuando se tiene la distancia establecida entre ambas caras de la tobera, se selecciona "Plano" "Croquis" y se dibuja un nuevo cuadrado con las medidas de la salida de la tobera, a esta

medida también se le suma 4mm debido a que posteriormente se configurará un espesor del material de la pieza de 2mm (ver Fig. 4).



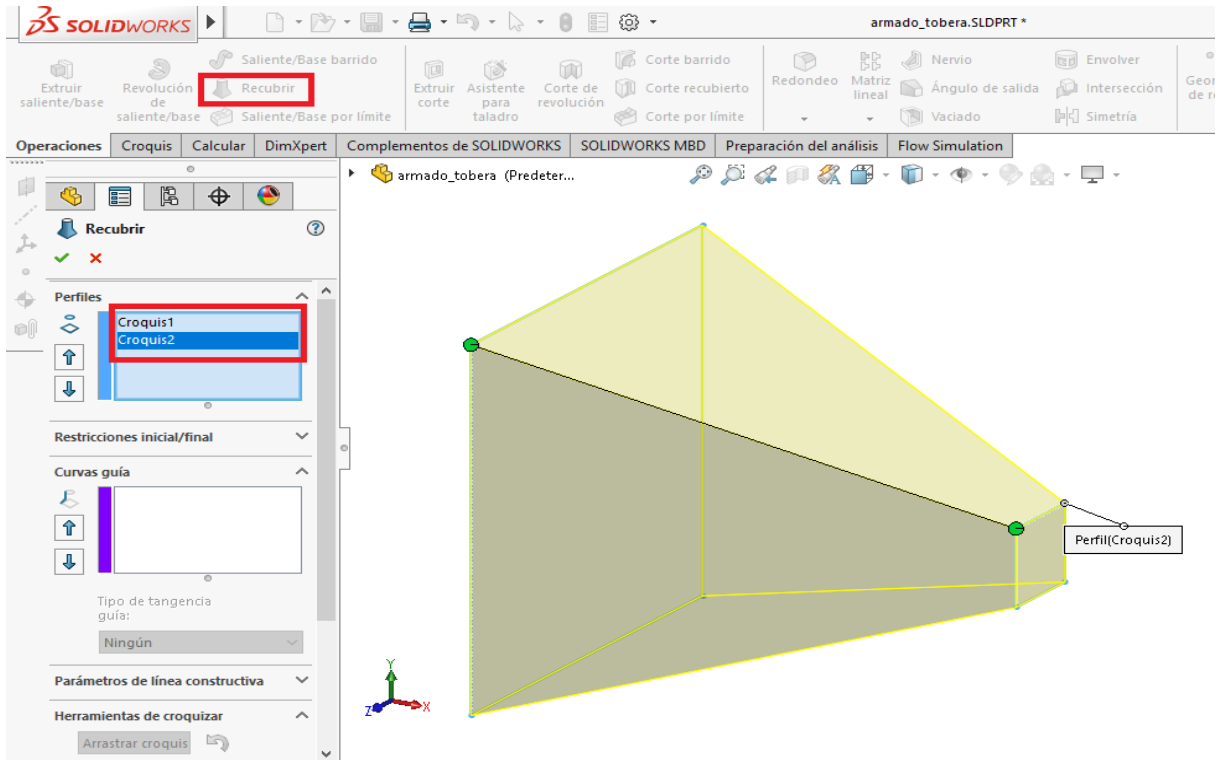
**Fig. 4.** Creación de la salida de la tobera

**Fuente:** Autores

**Elaboración:** Autores

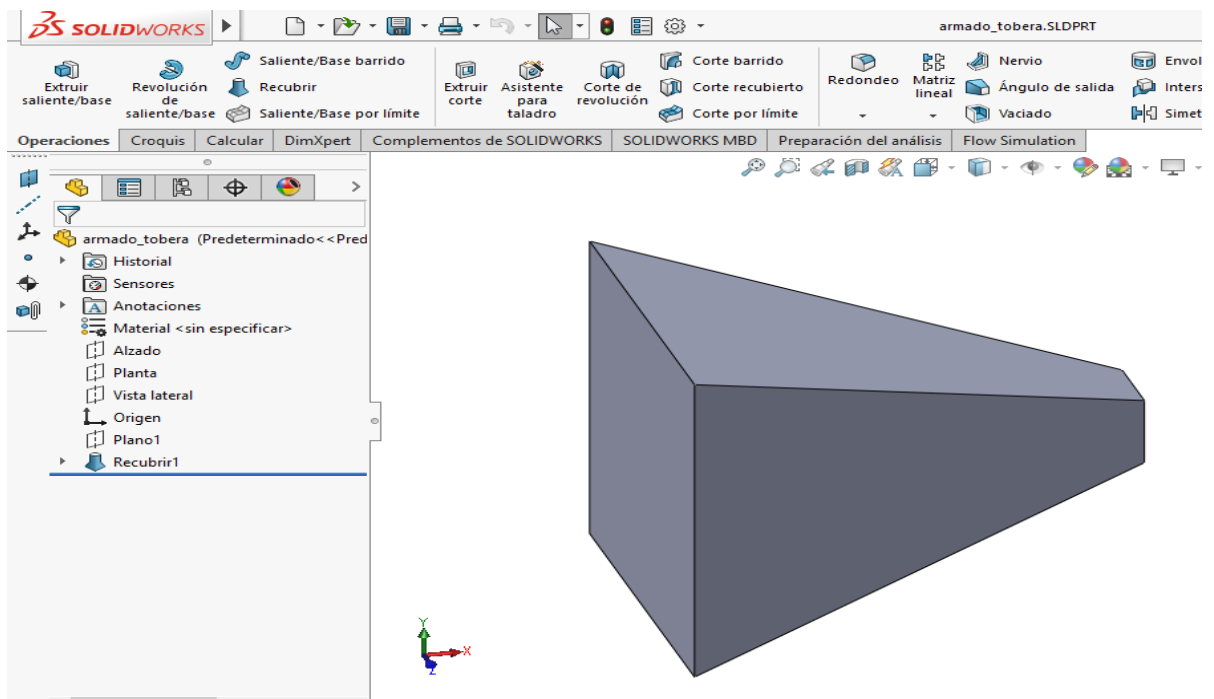
Al tener la entrada y la salida dibujadas, se procede a unir estas dos partes y de esta manera crear un objeto sólido con la forma de la tobera. Para esto se selecciona “Recubrir” y luego se selecciona las caras que se desea unir (ver Fig. 5).





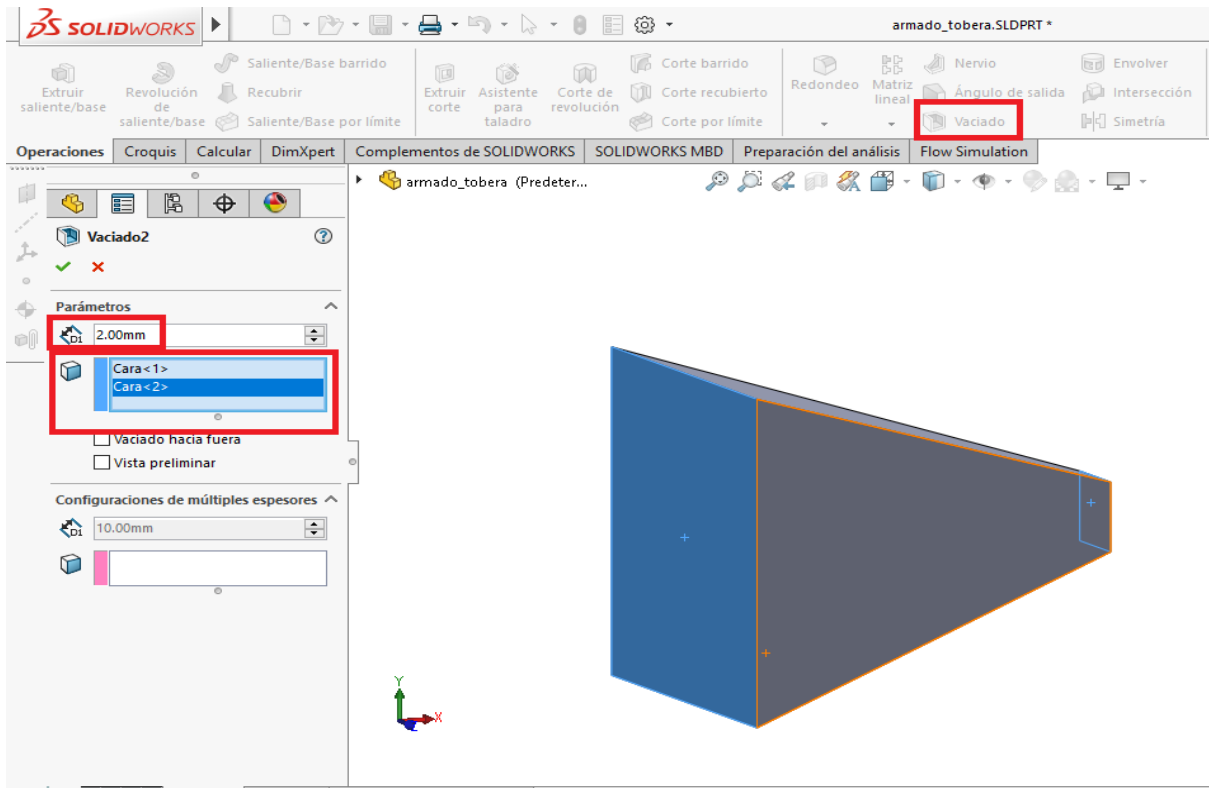
**Fig. 5.** Unión de la entrada y la salida para obtener un objeto sólido con la forma de la tobera  
**Fuente:** Autores  
**Elaboración:** Autores

Después de unir las caras de la tobera se tiene como resultado un sólido con la forma del Magnus Venturi (ver Fig. 6).



**Fig. 6.** Figura sólida obtenida con la forma de la tobera  
**Fuente:** Autores

**Elaboración:** Autores El siguiente paso es hacer que la tobera pase de ser un sólido a estar hueca por dentro; para esto se selecciona “Vaciado”, y en las configuraciones se selecciona las caras que serán vaciadas, también en esta instancia es en donde se configura el espesor del material de la pieza que es de 2mm (ver Fig. 7).

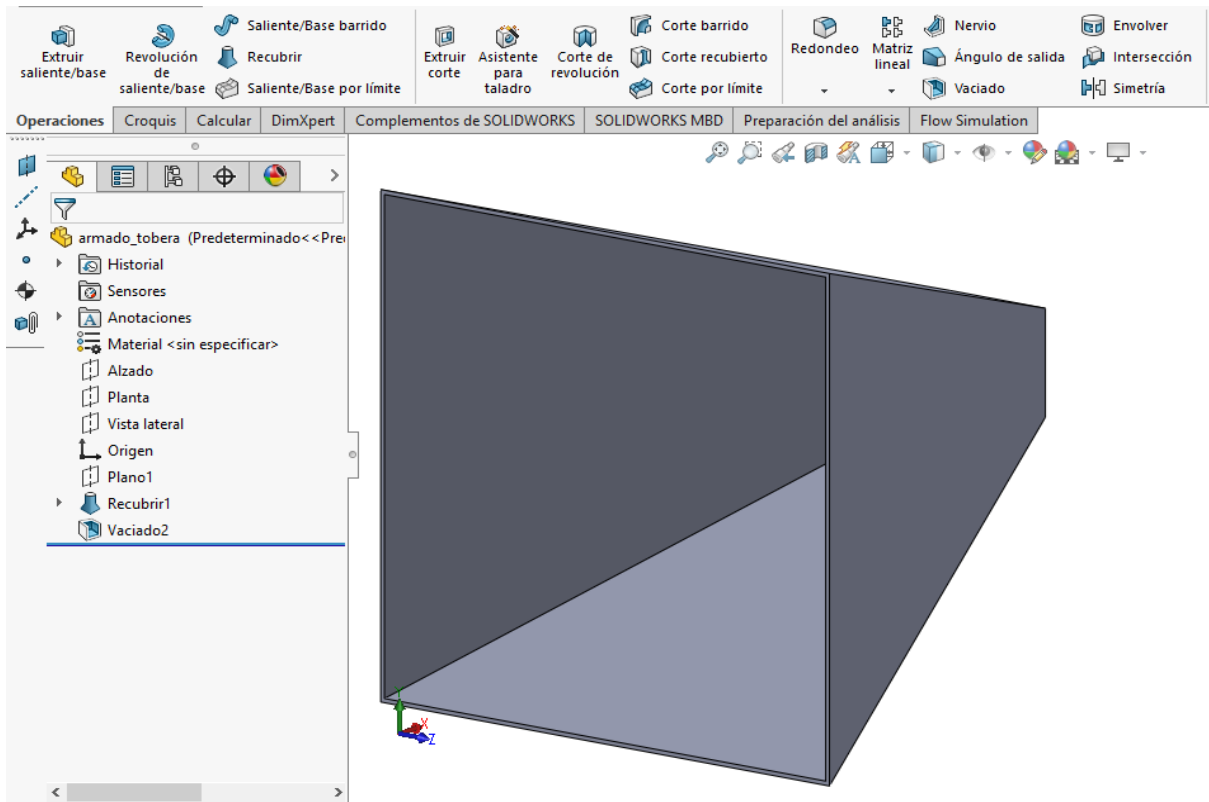


**Fig. 7.** Configuración del vaciado de la tobera con un espesor del material de 2mm

**Fuente:** Autores

**Elaboración:** Autores

Al realizar todas estas configuraciones se termina obteniendo el diseño de la tobera lista (ver Fig. 8).



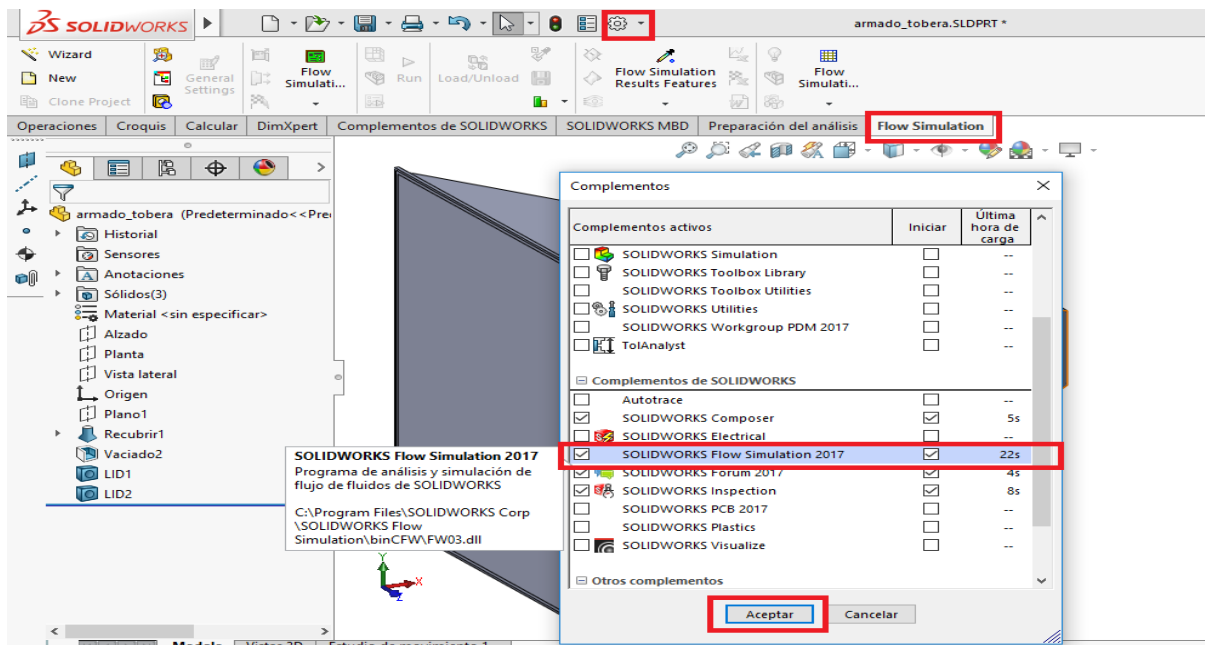
**Fig. 8.** Tobera armada para realizar la simulación

**Fuente:** Autores

**Elaboración:** Autores

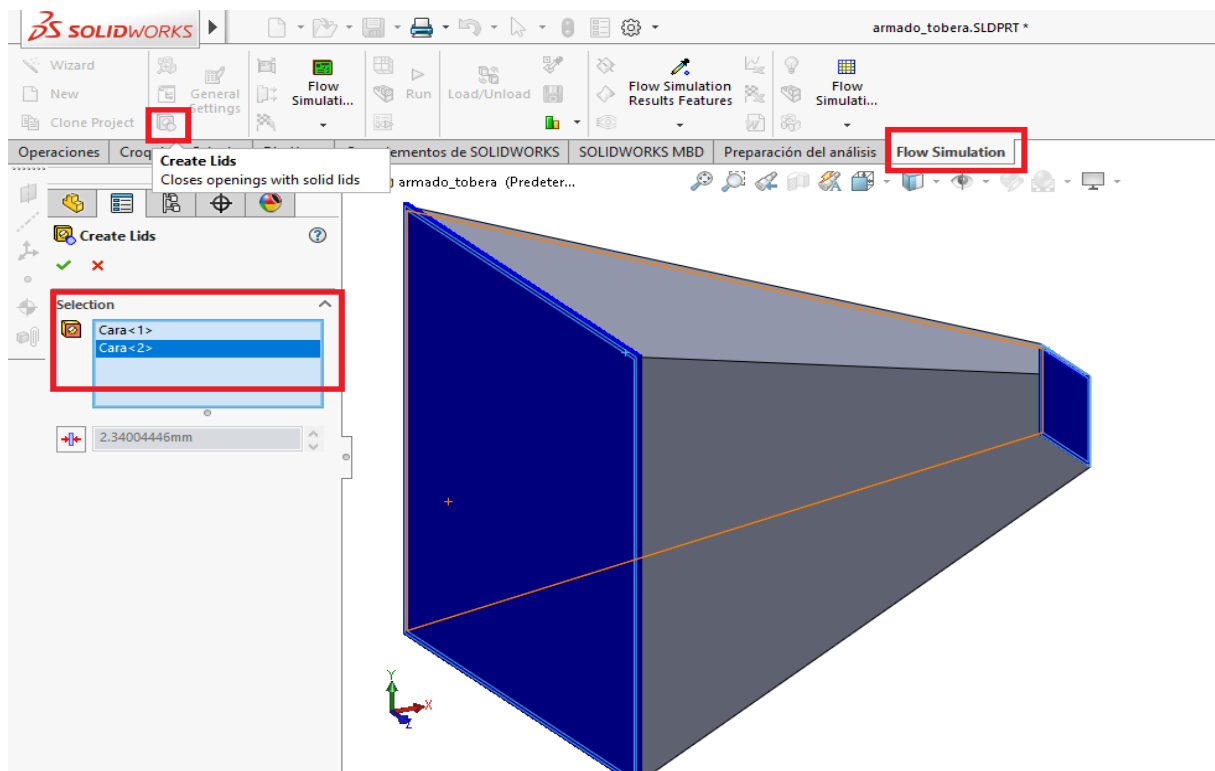
### - Utilización del complemento Flow Simulation.

En primer lugar se habilita el complemento de "Flow Simulation" seleccionando "Opciones" "Complementos" "SOLIDWORKS Flow Simulation 2017" "Aceptar", de esta forma aparece "Flow Simulation" en la barra de tareas de Solid Works (ver Fig. 9).



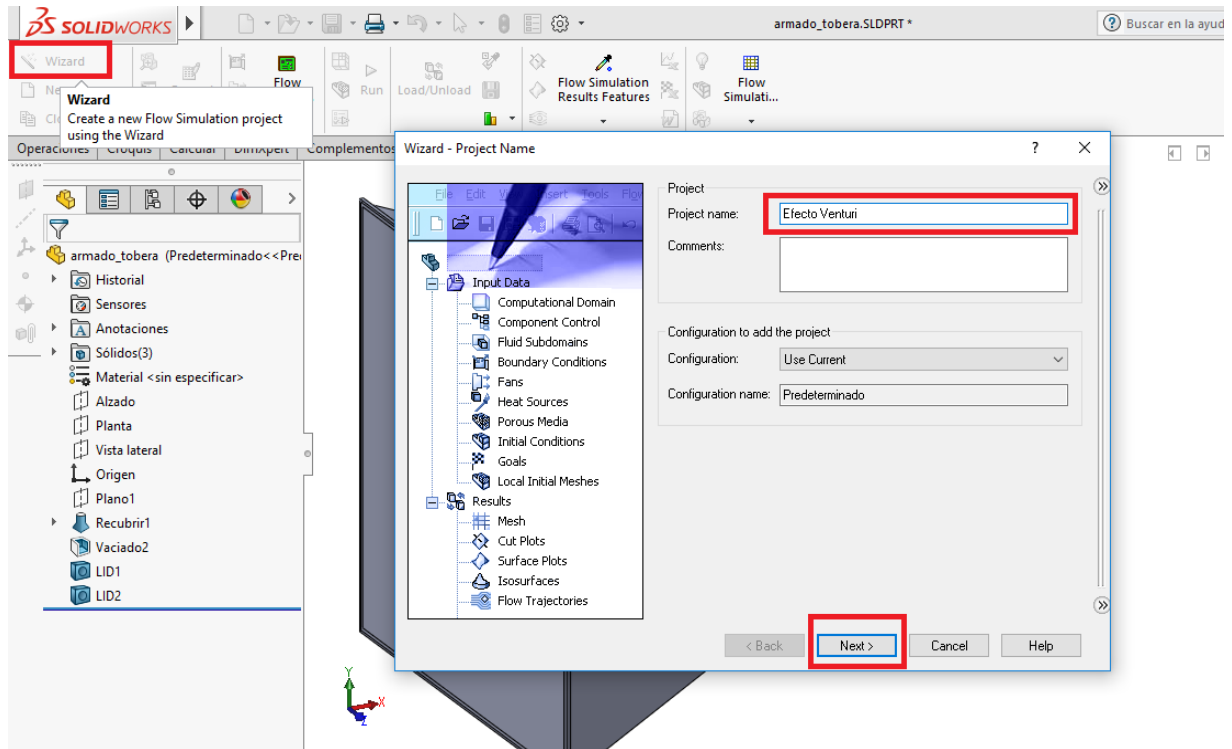
**Fig. 9.** Proceso para habilitar “Flow Simulation” y agregarlo a la barra de tareas de Solid Works  
**Fuente:** Autores  
**Elaboración:** Autores

Una vez que se tiene el complemento listo para usar, se selecciona “Flow Simulation” “Create Lids” y luego las caras tanto de la entrada como de la salida de la tobera; estas “Lids” se crean para luego poder establecer las condiciones iniciales de la simulación (ver Fig. 10).



**Fig. 10.** Creación de las tapas o “Lids” para la entrada y salida de la tobera  
**Fuente:** Autores

**Elaboración:** Autores Después de creadas las “Lids” se procedió a crear un nuevo proyecto “Wizard” en donde se le da nombre al proyecto para luego ir a “Next” (ver Fig. 11).

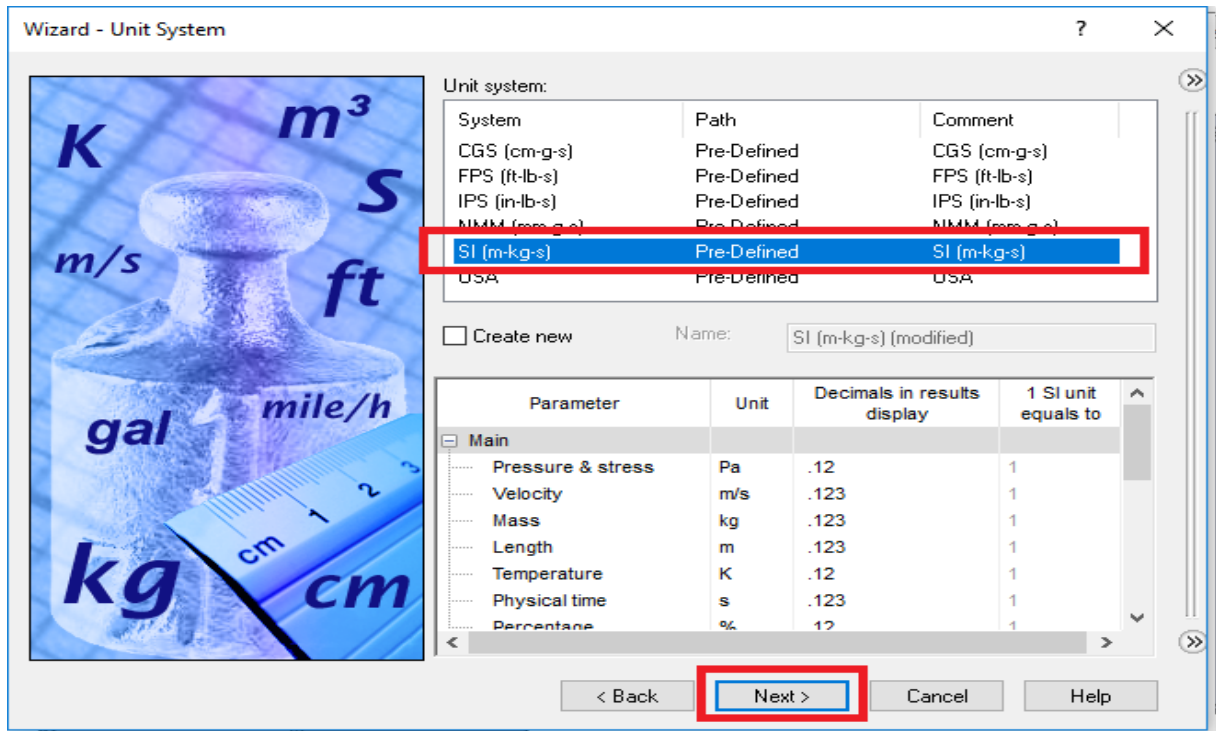


**Fig. 11.** Creación de un nuevo proyecto de “Flow Simulation”

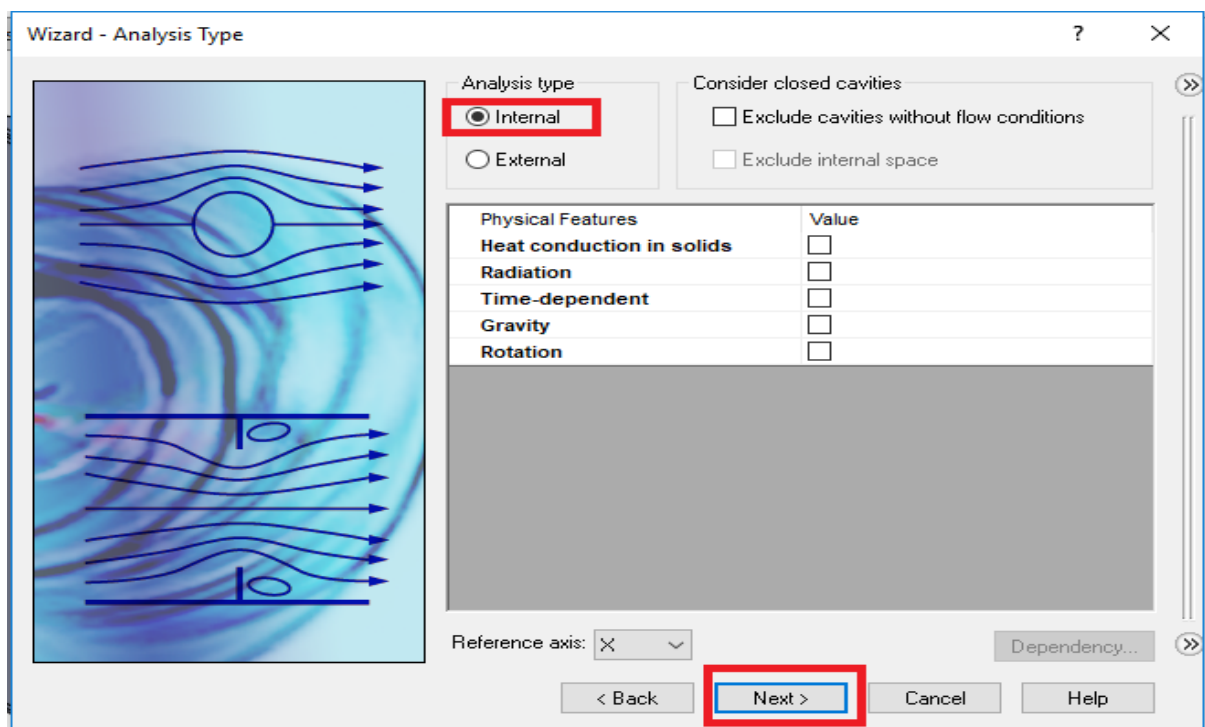
**Fuente:** Autores

**Elaboración:** Autores

Después de dar el nombre al proyecto, se selecciona el sistema de unidades de medida que se utilizará, en este caso se empleará el Sistema Internacional de Medidas (ver Fig. 12), después de presionar en “Next” se selecciona el tipo de análisis que se realizará, que en este caso fue para un flujo “Internal” (ver Fig. 13).

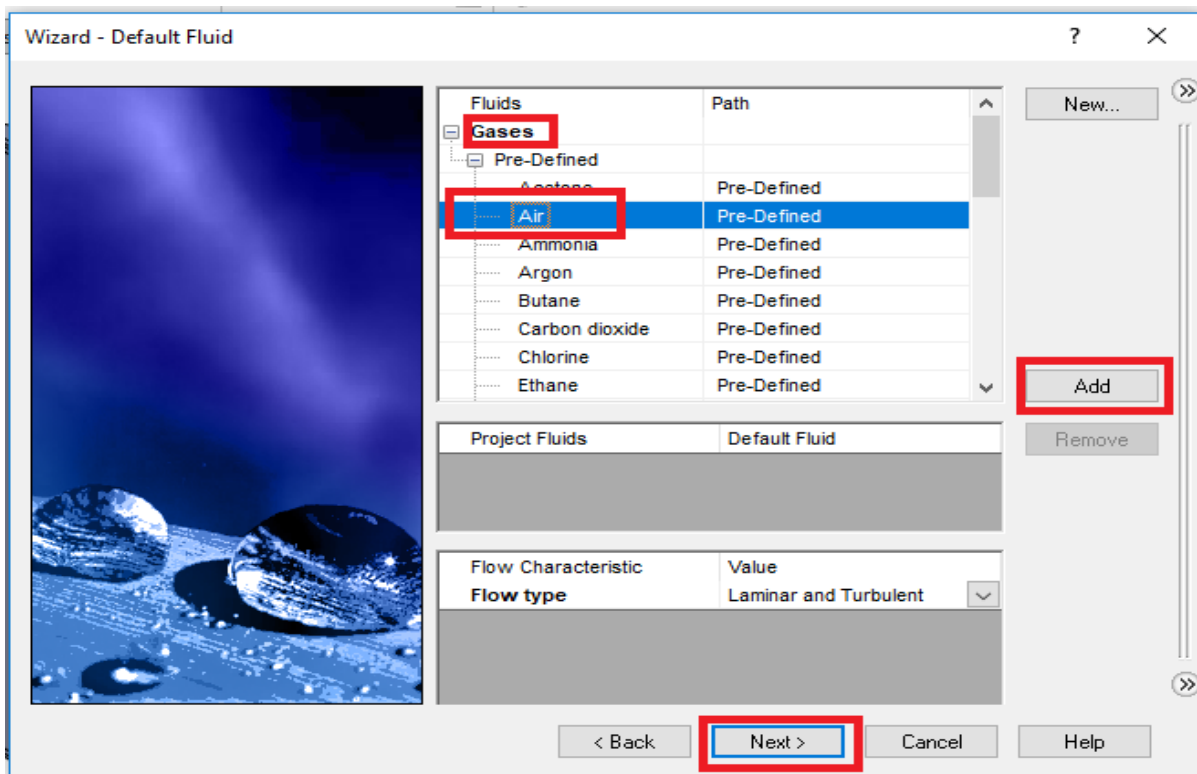


**Fig. 12.** Selección del Sistema Internacional de Medidas como sistema de medida para el proyecto  
**Fuente:** Autores  
**Elaboración:** Autores



**Fig. 13.** Selección de la opción "Internal" como el tipo de análisis que se realizará  
**Fuente:** Autores  
**Elaboración:** Autores

Al darle en "Next" aparecerá otra ventana en donde se escoge el tipo de fluido que se usará en la simulación, dando en "Gases" "Air" y "Add" para añadirlo a la simulación, luego en "Next" (ver Fig. 14).

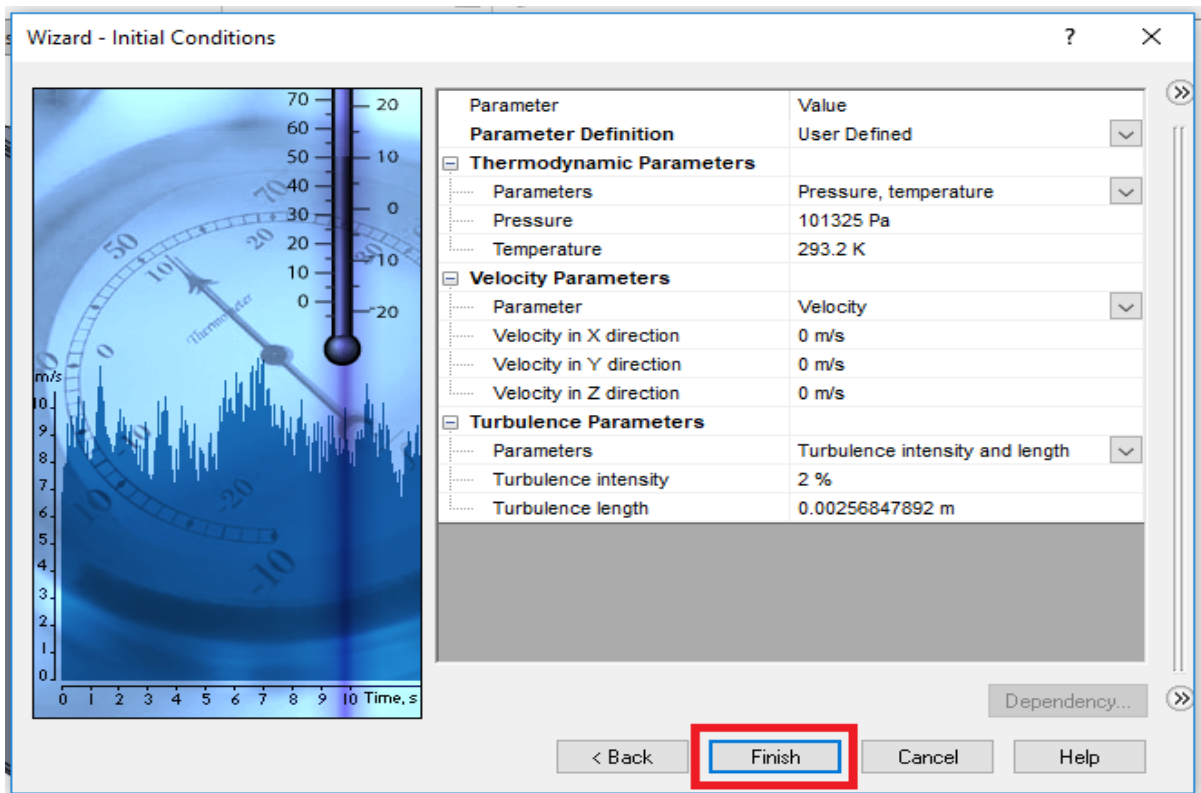


**Fig. 14.** Selección del "Aire" como fluido para realizar la simulación

**Fuente:** Autores

**Elaboración:** Autores

En la siguiente ventana se deja las opciones por defecto y se finaliza la configuración seleccionando "Finish" (ver Fig. 15).



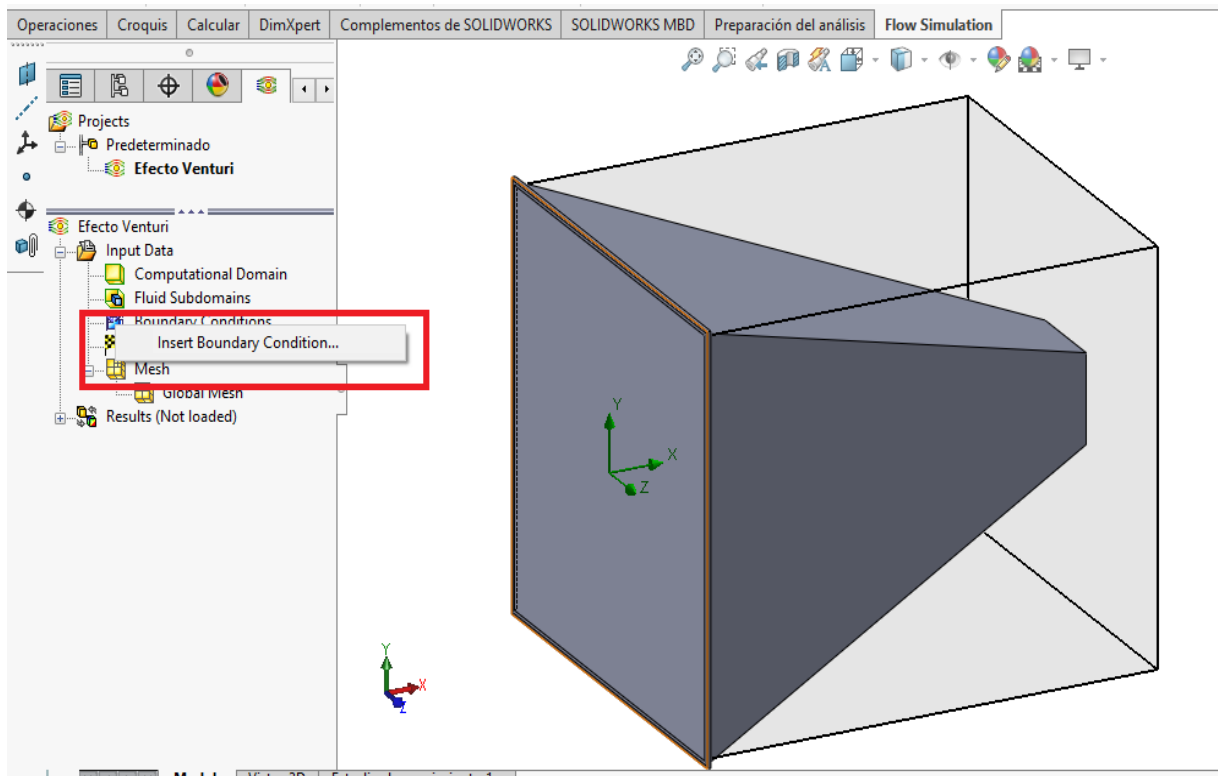
**Fig. 15.** Finalización de las configuraciones por defecto que se usaron para la simulación

**Fuente:** Autores

**Elaboración:** Autores

Una vez hecho esto, para establecer las condiciones iniciales de la simulación se usa "Boundary Conditions" y aquí "Insert Boundary Condition" (ver Fig.16).



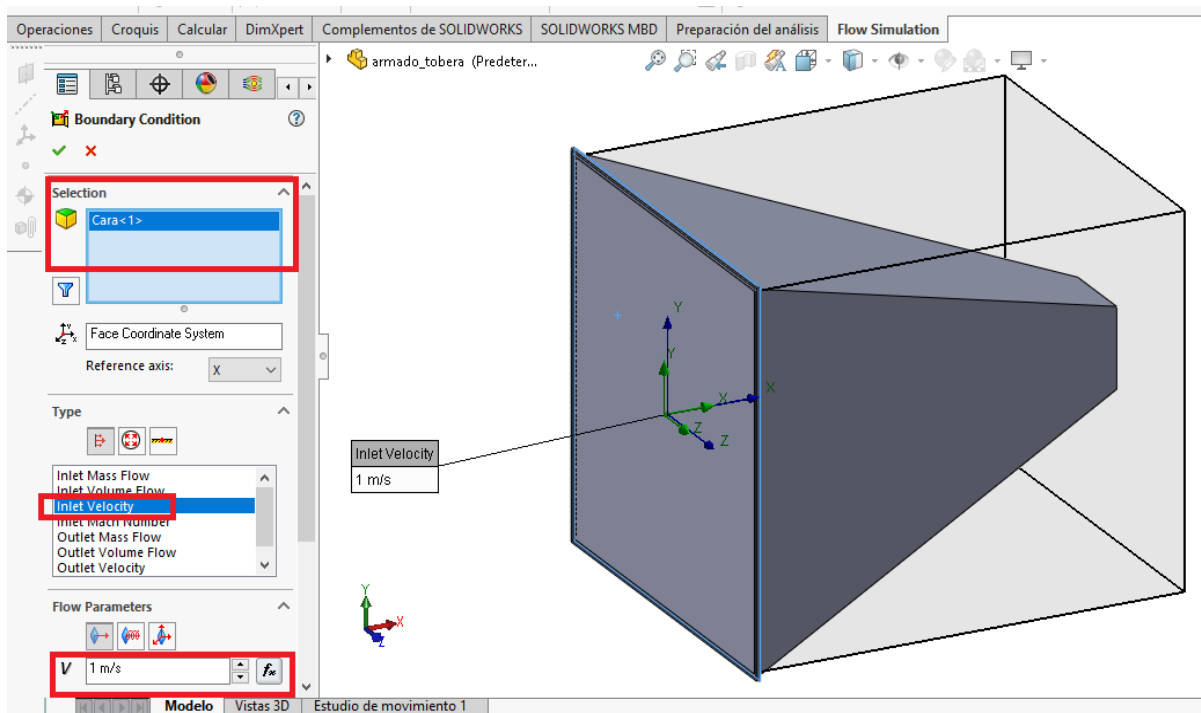


**Fig.16.** Como insertar nuevas condiciones iniciales para la simulación

**Fuente:** Autores

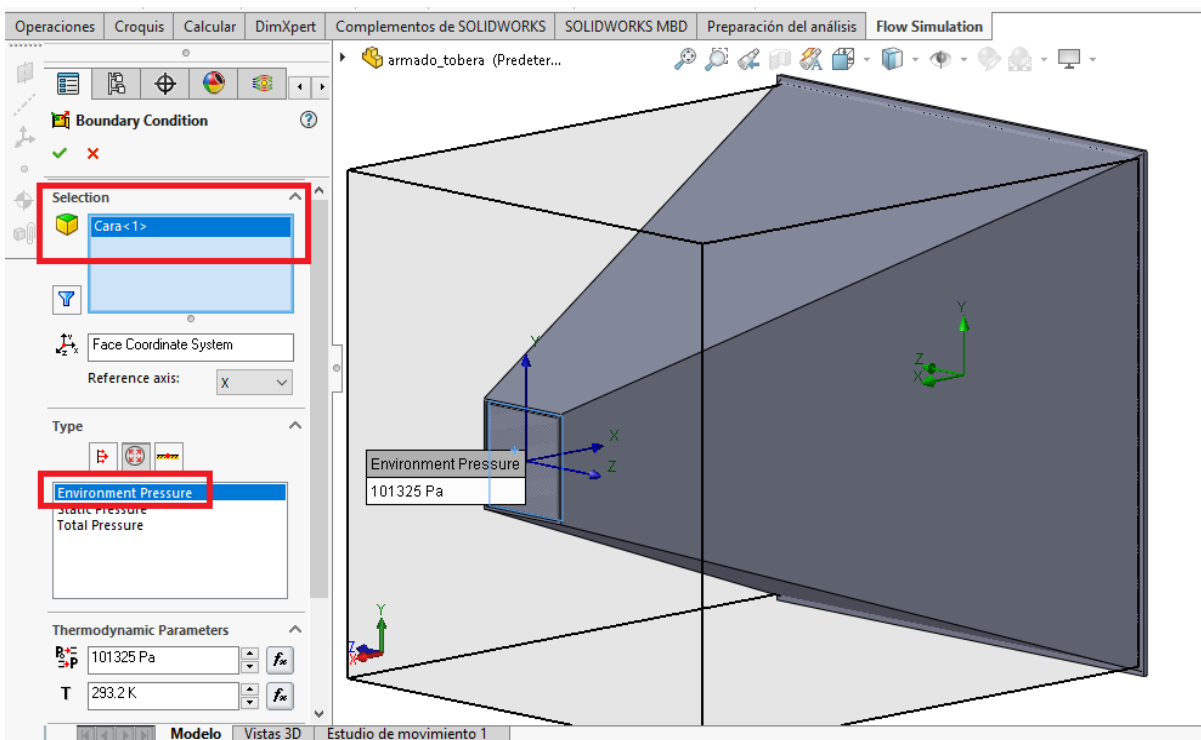
**Elaboración:** Autores

Al insertar una nueva “Boundary Condition” se ingresa en primer lugar una velocidad de entrada “Inlet Velocity” y al mismo tiempo se escoge la “Lid” sobre la cual se iniciará la condición, de igual forma se establece el valor de esta velocidad que será de 1m/s (ver Fig. 17).



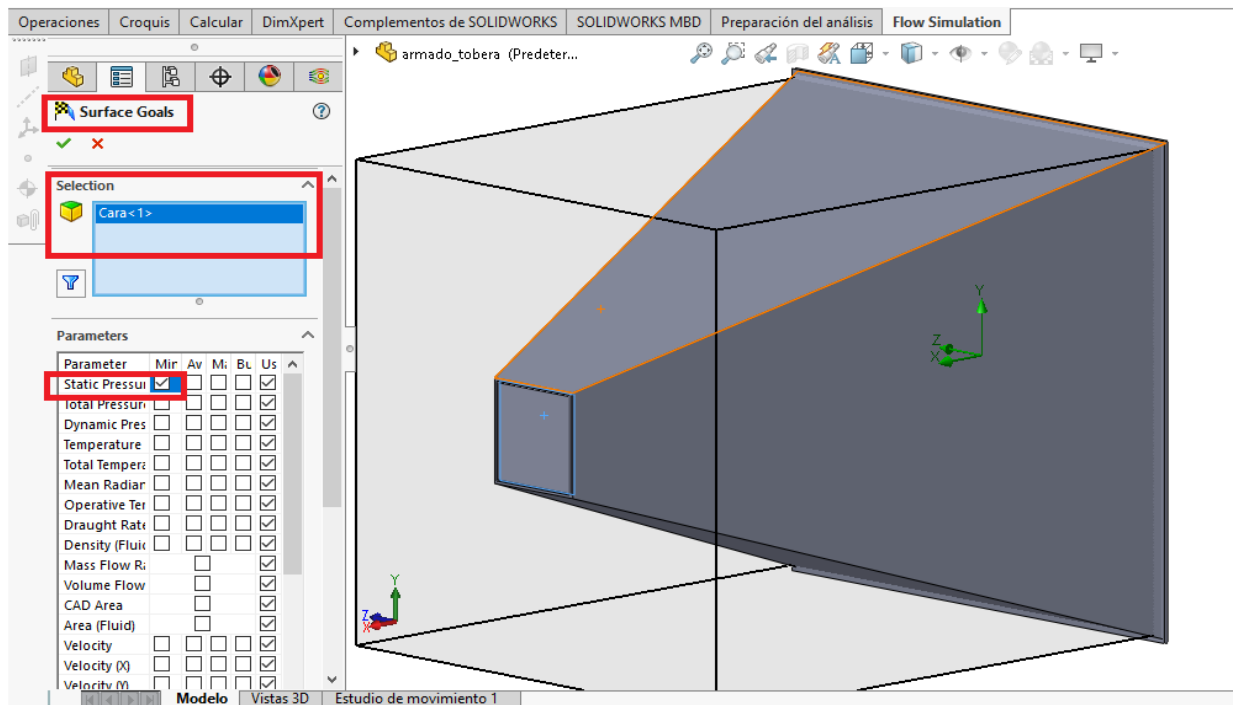
**Fig. 17.** Establecimiento de la velocidad inicial de 1 m/s a la entrada de la tobera  
**Fuente:** Autores  
**Elaboración:** Autores

Se inserta otra "Boundary Condition" que es la "Environment Pressure" que es configurada a la salida de la tobera (ver Fig. 18).



**Fig. 18.** Establecimiento de la presión ambiente a la salida de la tobera  
**Fuente:** Autores

**Elaboración:** Autores Una vez que se tiene las condiciones iniciales establecidas, se procede a insertar los objetivos que se necesitaban a la salida, los cuales servirán para poder armar la ecuación de Bernoulli. Para esto se selecciona “Goals” “Insert Surface Goals”, aquí se ingresará una “Static Pressure”, y se seleccionará la cara de la tobera de la cual se quiere obtener ese valor (ver Fig. 19).

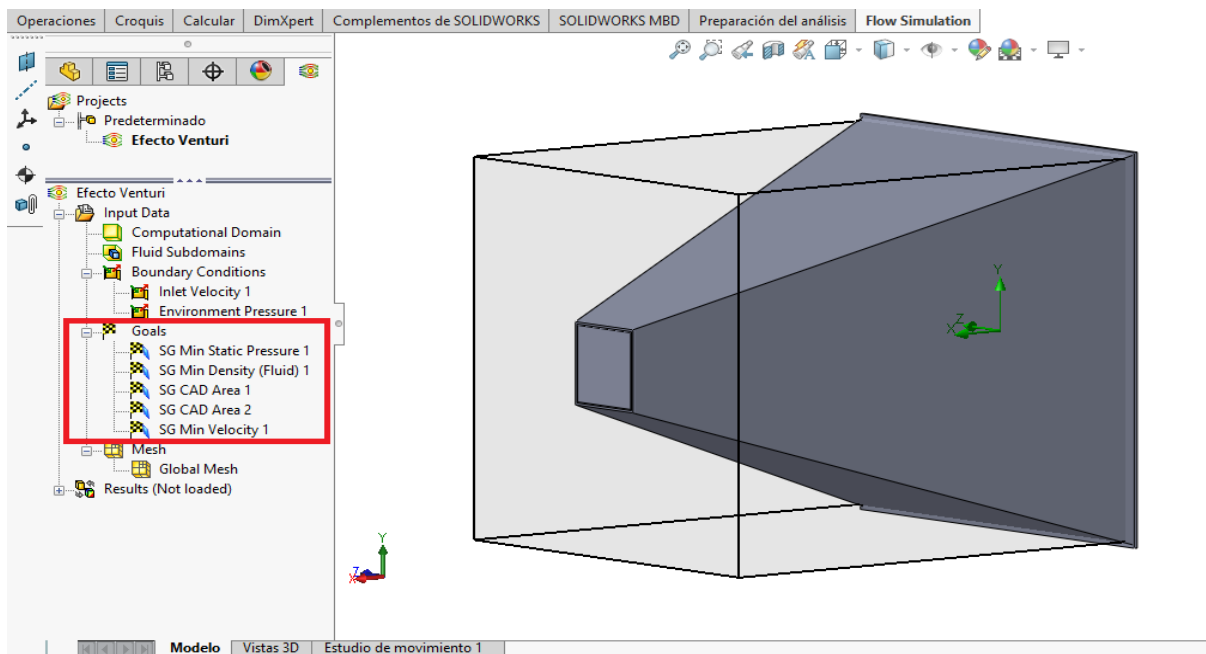


**Fig.19.** Establecimiento de la “Static Pressure” como parámetro de salida de la simulación

**Fuente:** Autores

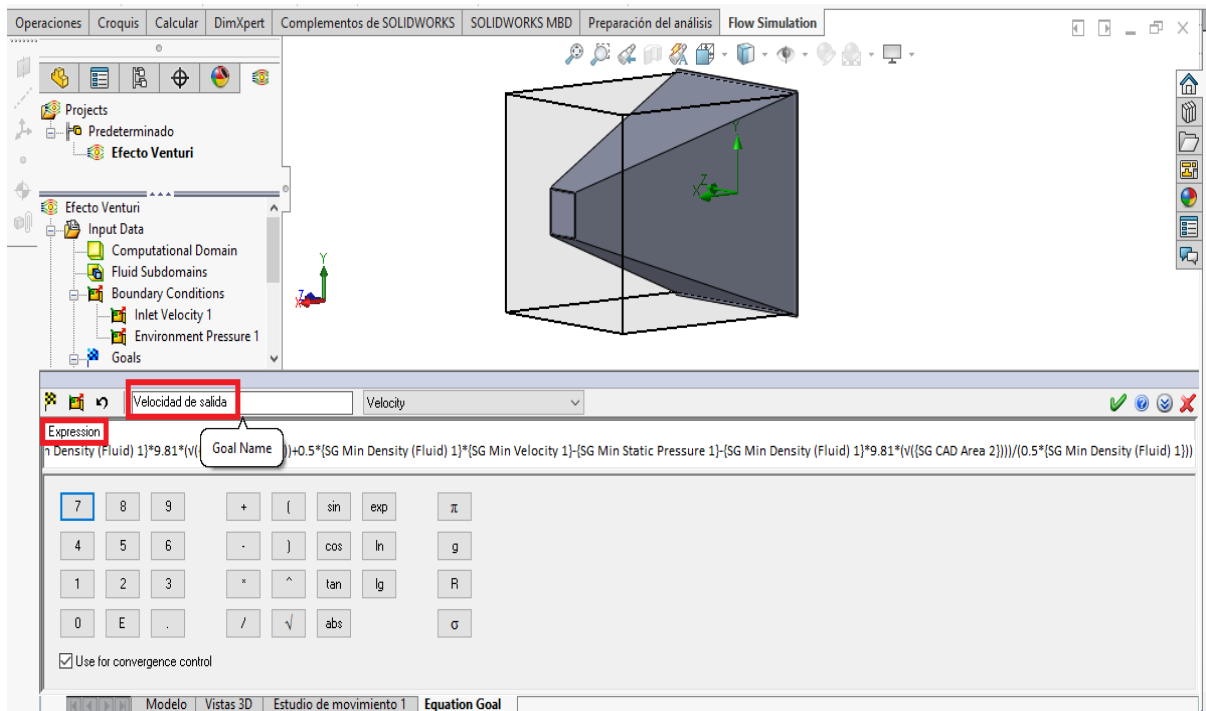
**Elaboración:** Autores

Luego se inserta de igual forma cuatro objetivos más para poder completar el armado de la ecuación de Bernoulli. “Density Fluid”, necesaria para obtener la Densidad del Fluido. “Velocity”, para tomar la Velocidad de entrada a la tobera. “CAD Area 1” y “CAD Area 2”, correspondientes a las Áreas tanto de la superficie de la entrada como de la salida de la tobera (ver Fig. 20).



**Fig. 20.** Establecimiento de los cuatro objetivos adicionales para poder armar la ecuación de Bernoulli  
**Fuente:** Autores  
**Elaboración:** Autores

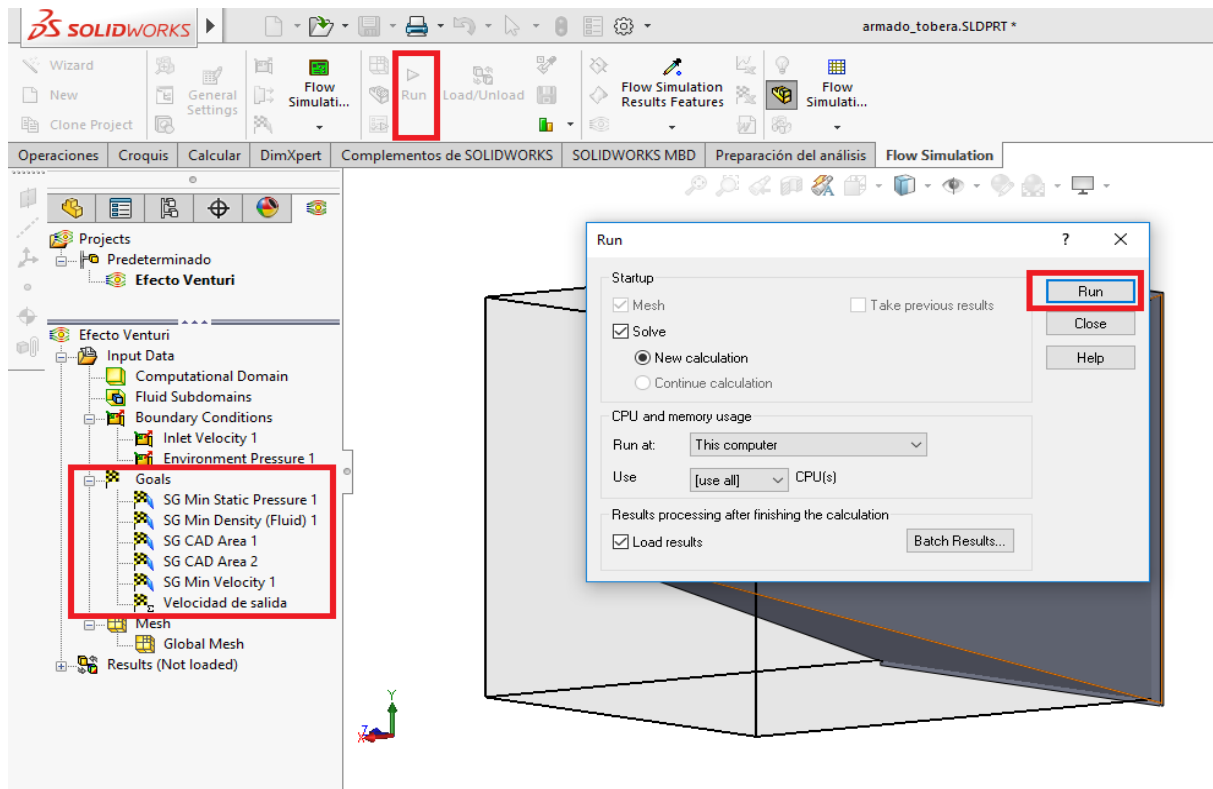
Después de esto, lo que se hace es insertar un último objetivo, para ello se selecciona “Goals” “Insert Equation Goal” y aquí se escribe la ecuación de Bernoulli, para lo cual se toma los valores de los objetivos antes configurados; a esta “Equation Goal” se le dio el nombre de “Velocidad de salida” (ver Fig. 21).



**Fig. 21.** Creación de la “Equation Goal” llamada “Velocidad de salida” tomando los valores obtenidos de los objetivos antes establecidos  
**Fuente:** Autores

**Elaboración:** Autores

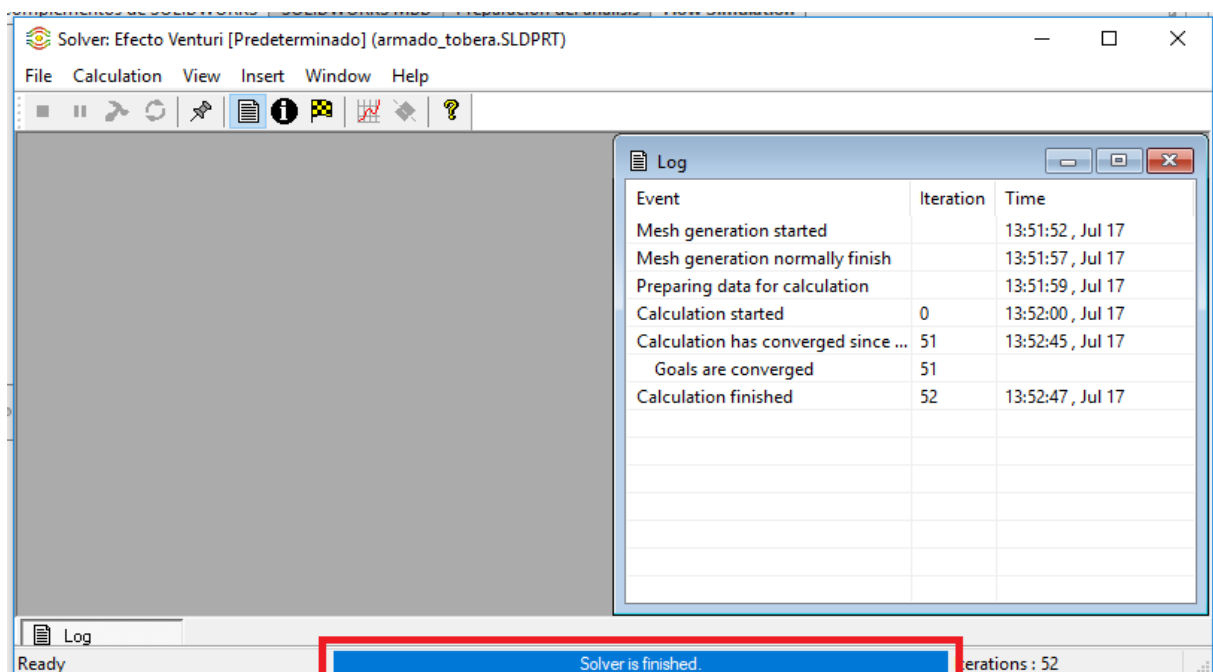
Al tener todos los parámetros de salida establecidos, se procede a correr la simulación en “Run” (ver Fig. 22), después de esto aparece una ventana en la cual se puede ver el progreso de la simulación hasta que ésta finaliza (ver Fig.23).



**Fig. 22.** Puesta en marcha de la simulación de la tobera

**Fuente:** Autores

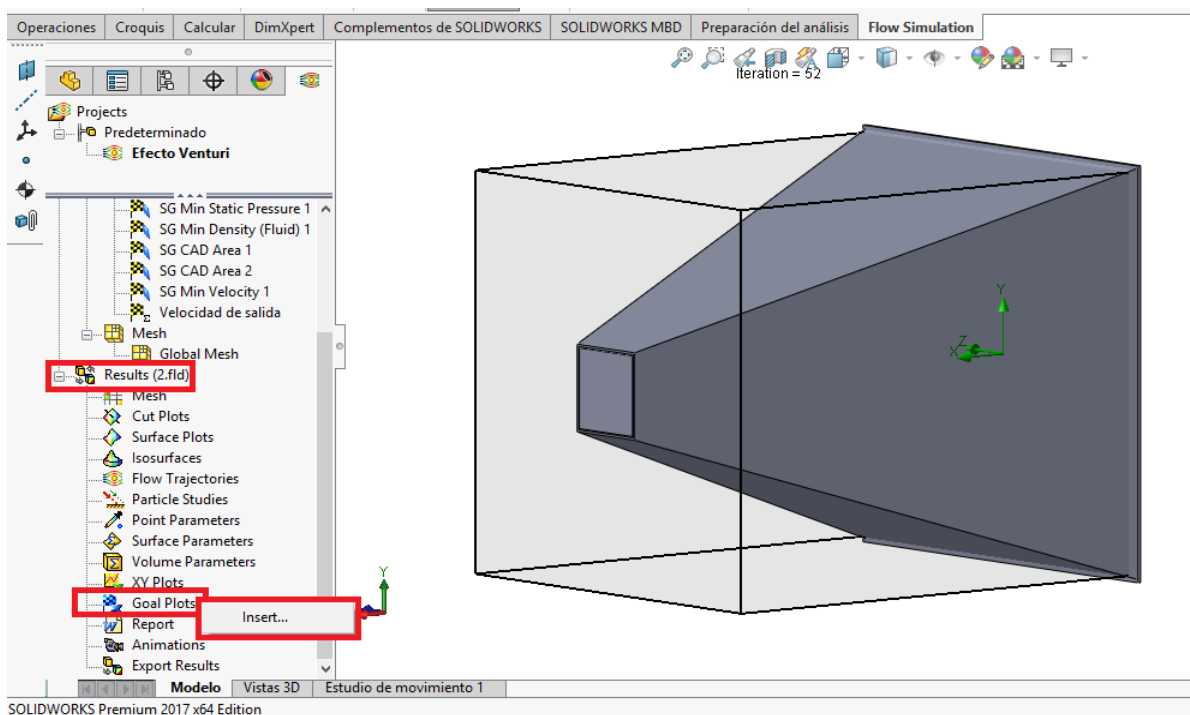
**Elaboración:** Autores



**Fig. 23.** Ventana emergente para verificar el avance de la simulación

**Fuente:** Autores

**Elaboración:** Autores Terminada la simulación, para poder visualizar los resultados se coloca en “Results” “Goal Plots” y aquí se selecciona “Insert” (ver Fig. 24).

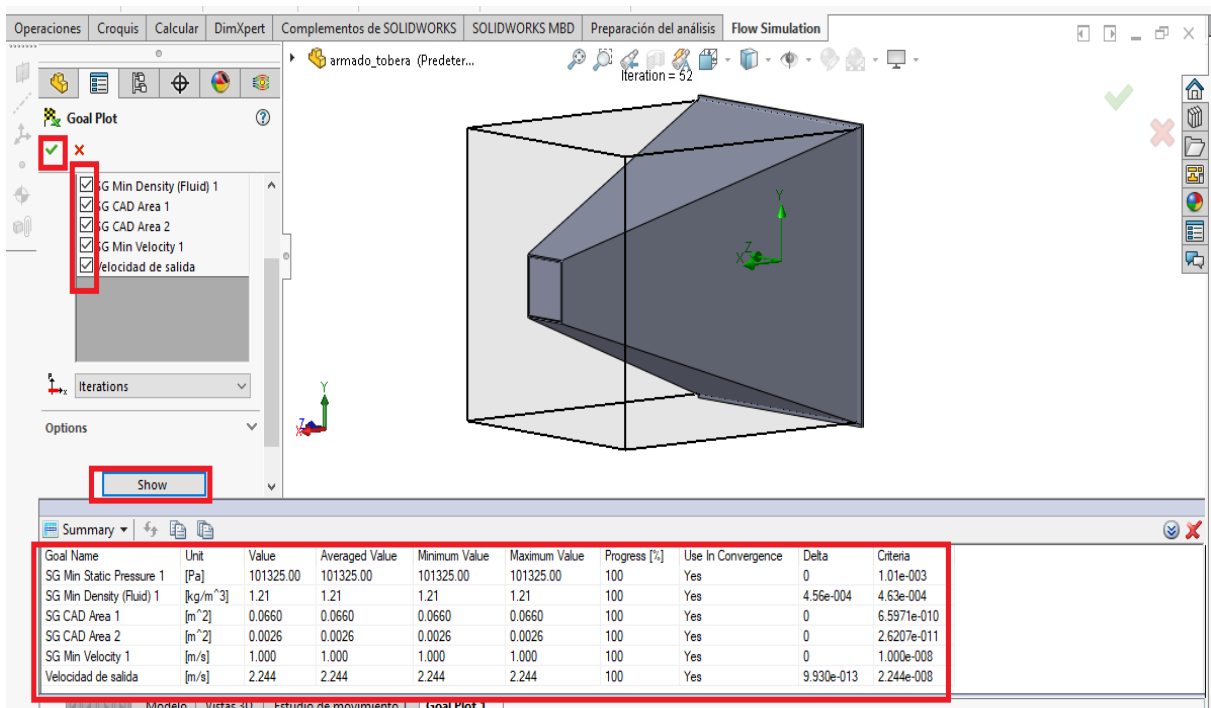


**Fig. 24.** Proceso para poder visualizar los resultados obtenidos en la simulación

**Fuente:** Autores

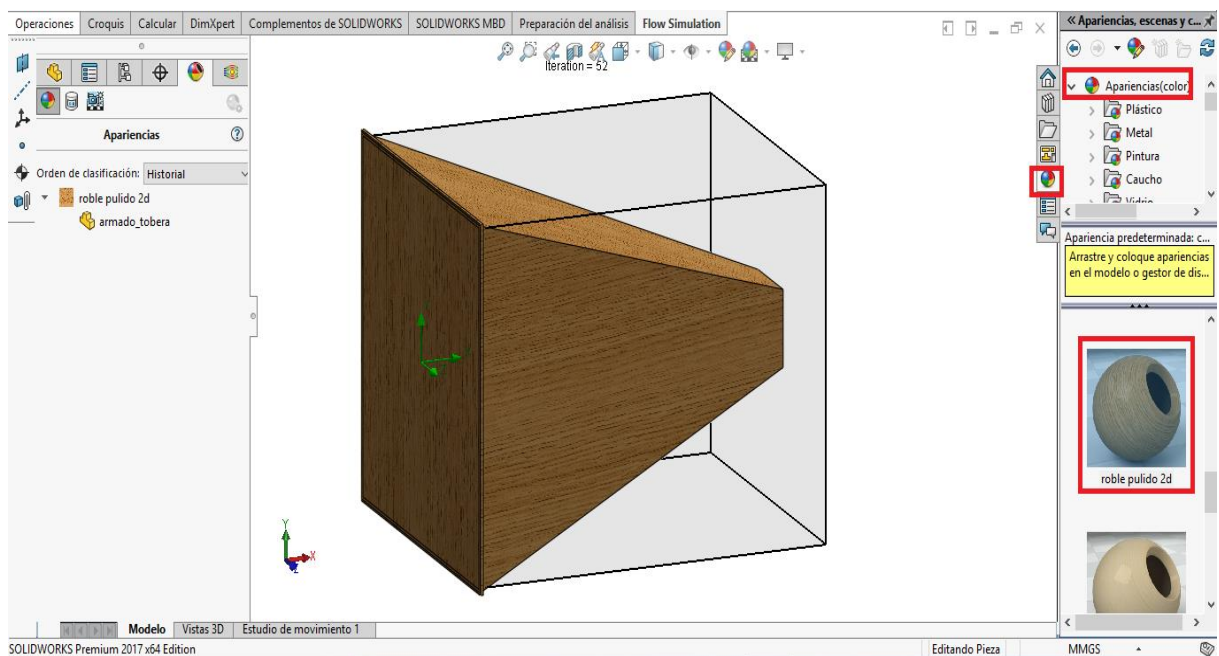
**Elaboración:** Autores

Posteriormente se abrirá una ventana en donde se seleccionarán todos los resultados que se quieran visualizar, se usa “Show” para verlos y se finaliza en “OK” (ver Fig. 25).



**Fig. 25.** Configuración para la observación de los resultados obtenidos en la simulación  
**Fuente:** Autores  
**Elaboración:** Autores

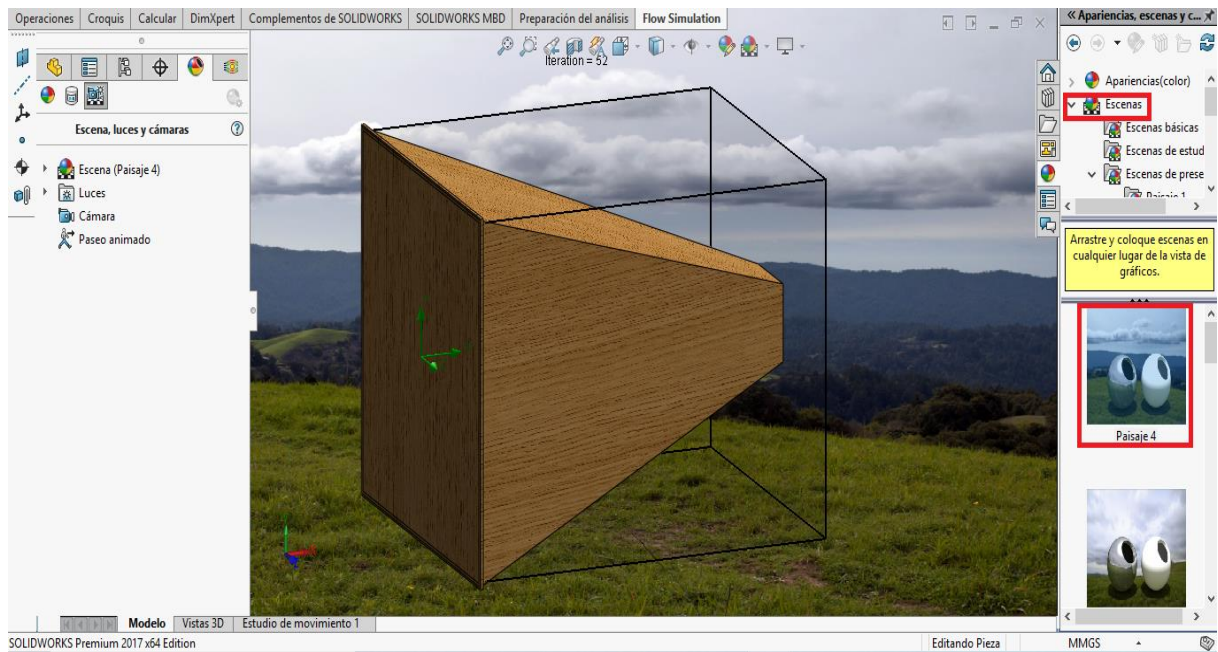
Una vez obtenidos los resultados esperados, se procede a configurar una apariencia para la tobera diseñada, esto con el objetivo de mejorar el aspecto estético de la misma. Para hacerlo se usa “Apariencias, escenas y calcomanías” en donde se seleccionó una apariencia para la tobera diseñada (ver Fig. 26).



**Fig. 26.** Cambio de aspecto físico de la tobera diseñada  
**Fuente:** Autores

**Elaboración:** Autores

De igual forma se puede cambiar el aspecto del fondo, para esto se usa “Escena” y se selecciona una escena para el diseño realizado (ver Fig. 27).



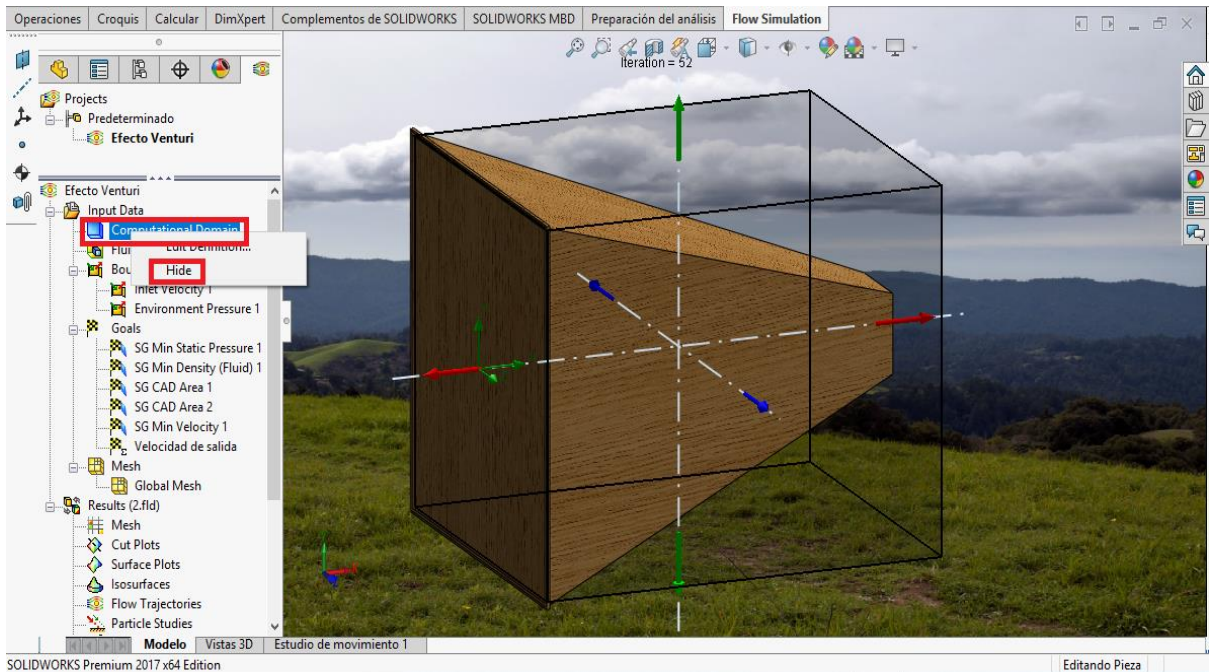
**Fig. 27.** Cambio de la escena para la simulación realizada

**Fuente:** Autores

**Elaboración:** Autores

Luego se configura la simulación para poder observar el flujo del aire que pasa a través de la tobera, para esto primero se oculta el “Computational Domain” dando en “Hidden”, con el objetivo de poder observar de mejor forma el flujo de aire dentro del diseño, de esta forma desaparecerá el recuadro que estaba alrededor del diseño fabricado (ver Fig. 28).



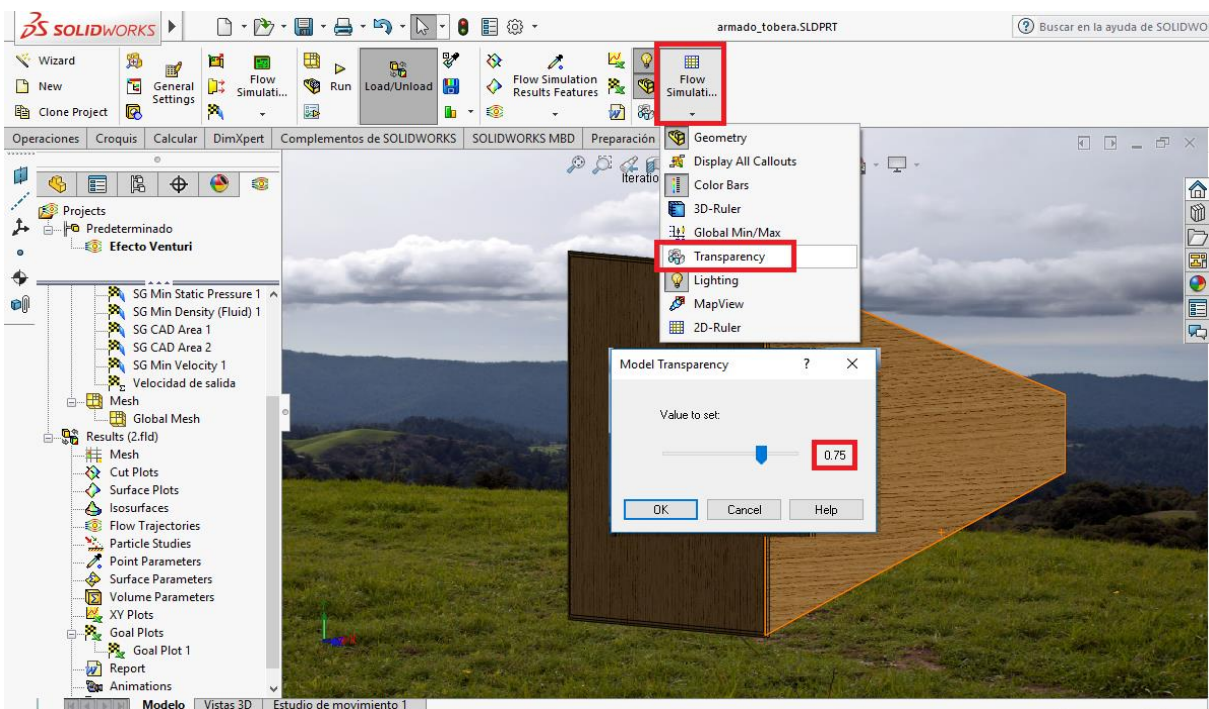


**Fig. 28.** Proceso para ocultar el “Computational Domain” y poder observar de mejor forma el flujo del aire en el interior de la tobera

**Fuente:** Autores

**Elaboración:** Autores

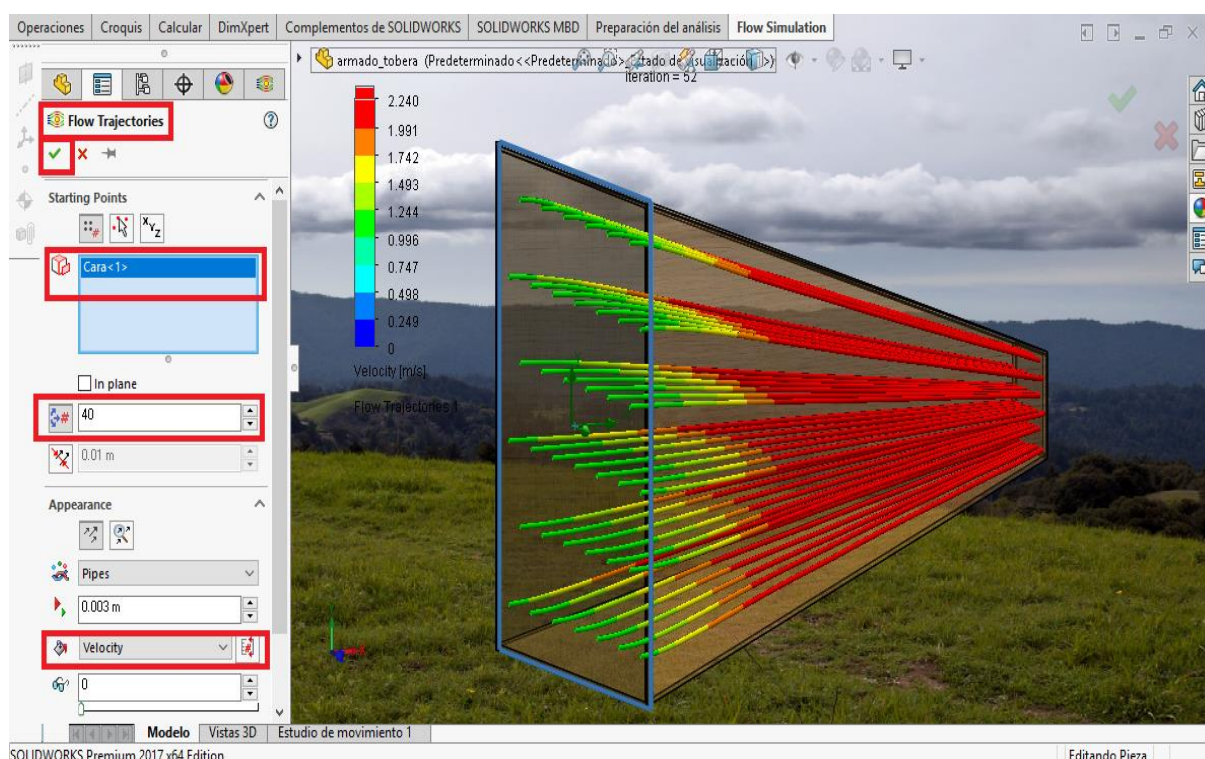
El siguiente paso es configurar la tobera para que se pueda ver a través de ésta el flujo de aire; para esto se usa “Flow Simulation Display” y “Transparency”, la cual se establece en un valor de 0.75 (ver Fig. 29).



**Fig. 29.** Configuración de la transparencia de la tobera en un valor de 0.75

**Fuente:** Autores

**Elaboración:** Autores Teniendo la transparencia deseada, se usa “Flow Trajectories” para insertar en la tobera el flujo de aire. Dentro de esta opción se selecciona la cara de la tobera desde la cual empezará a correr el fluido, luego “Velocity” y también se establece el número de puntos que se graficarán dentro de la tobera, dando “OK” se muestra el flujo del aire al interior del diseño realizado (ver Fig. 30).



**Fig. 30.** Configuración de la trayectoria del flujo de aire dentro de la tobera

**Fuente:** Autores

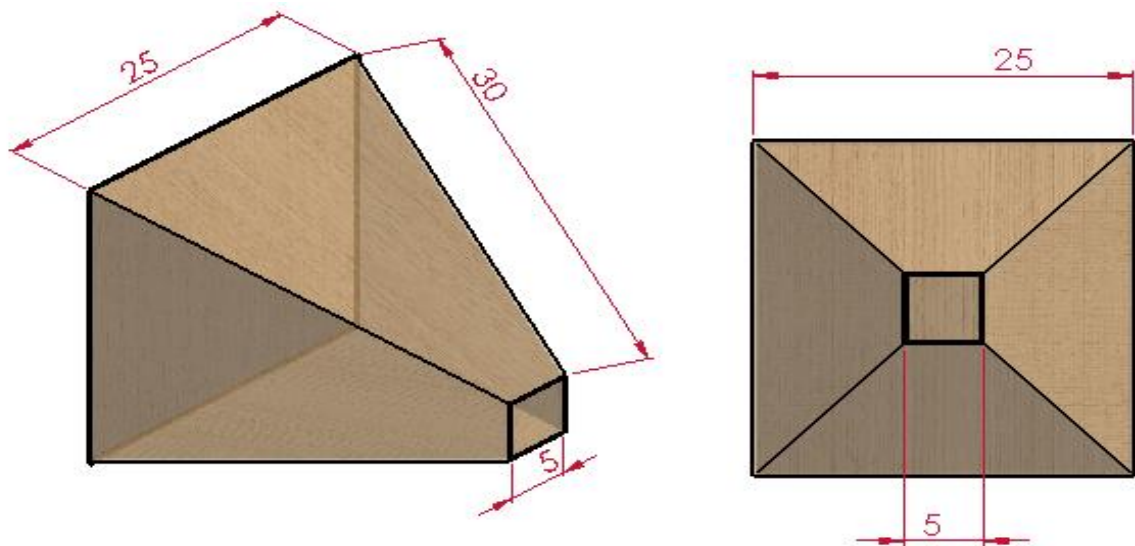
**Elaboración:** Autores

Este es el proceso que se sigue para todas y cada una de las diferentes toberas que se simularon y fueron 4 en total, que posteriormente fueron construidas y evaluadas en el medio natural, con lo cual se hizo una comparativa entre los valores obtenidos matemáticamente y los obtenidos en mediciones reales hechas al aire libre.

#### **- Primera simulación de tobera.**

Esta primera simulación se hizo con una tobera cuya entrada fue de 25cm por lado y la salida de 5cm por lado; con un largo de tobera de 30cm (ver Fig. 31) y la velocidad de entrada configurada fue de 1m/s. El resultado obtenido en la simulación fue de 2.24m/s a la salida de la tobera (ver Fig. 32).

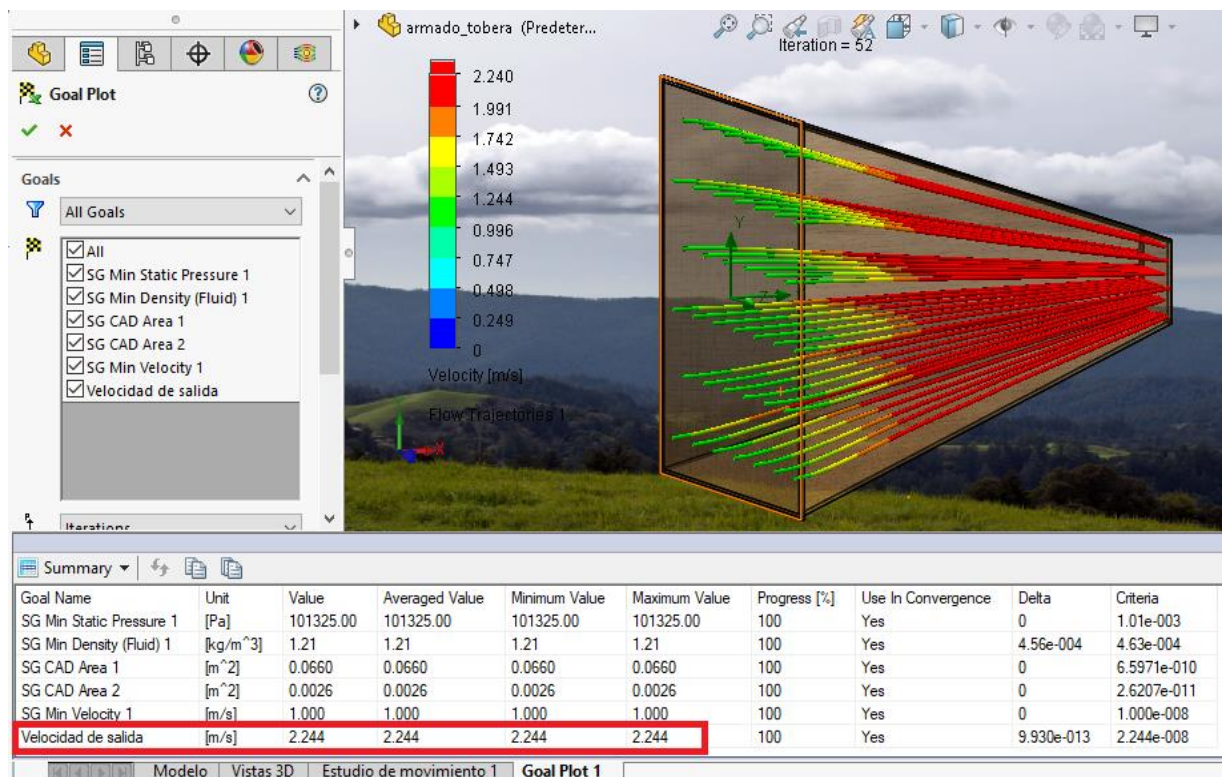




**Fig. 31.** Geometría en (cm) de la primera tobera simulada

**Fuente:** Autores

**Elaboración:** Autores



**Fig. 32.** Velocidad de 2.24m/s obtenida a la salida de la primera tobera

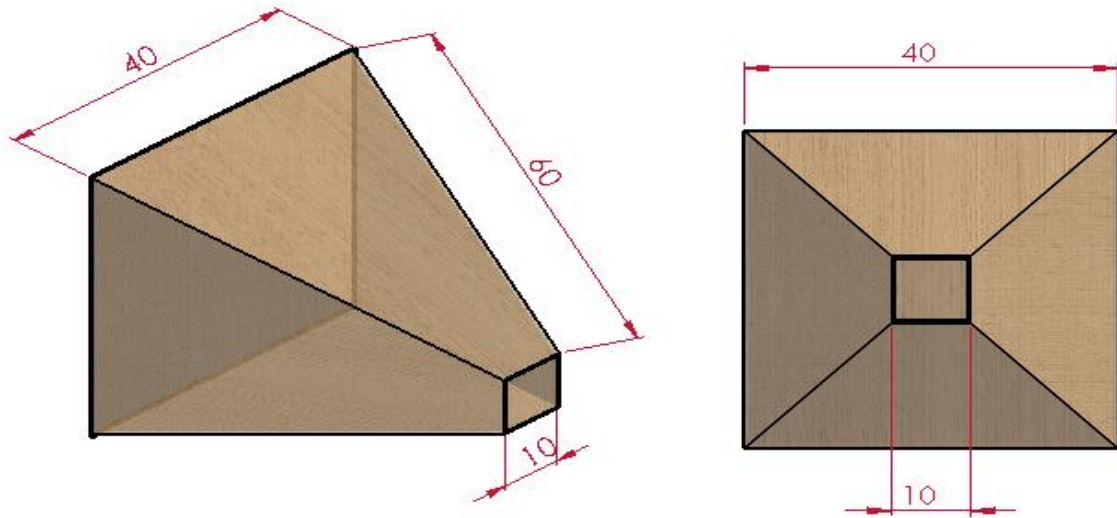
**Fuente:** Autores

**Elaboración:** Autores

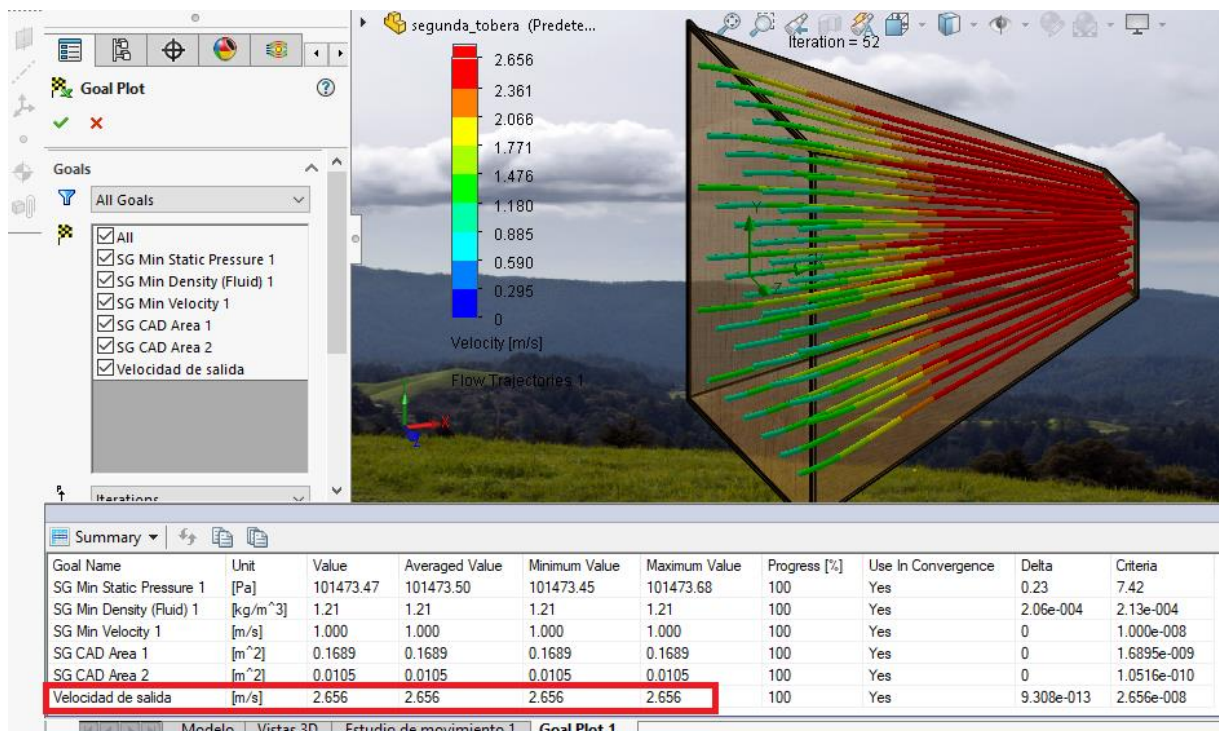
### - Segunda simulación de tobera.

Para la segunda simulación se realizó un diseño de 40cm por lado a la entrada de la tobera y la salida fue de 10cm por lado, con un largo de tobera de 60cm (ver Fig. 33) y la velocidad de

entrada configurada fue de 1m/s. El resultado obtenido en la simulación fue de 2.6m/s a la salida de la tobera (ver Fig. 34).



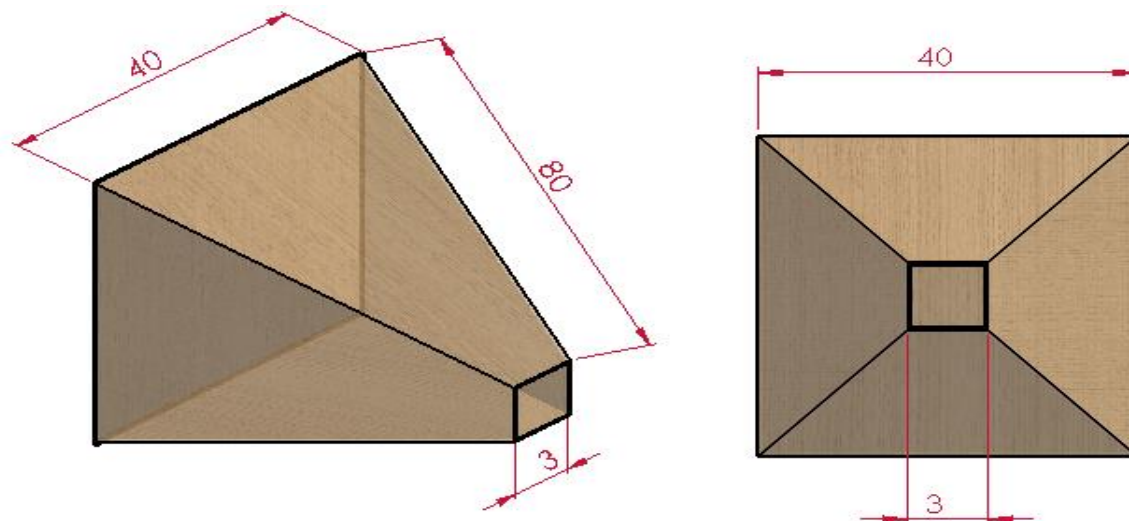
**Fig. 33.** Geometría en (cm) de la segunda tobera simulada  
**Fuente:** Autores  
**Elaboración:** Autores



**Fig. 34.** Velocidad de 2.6m/s obtenida a la salida de la segunda tobera  
**Fuente:** Autores  
**Elaboración:** Autores

- Tercera simulación de tobera.

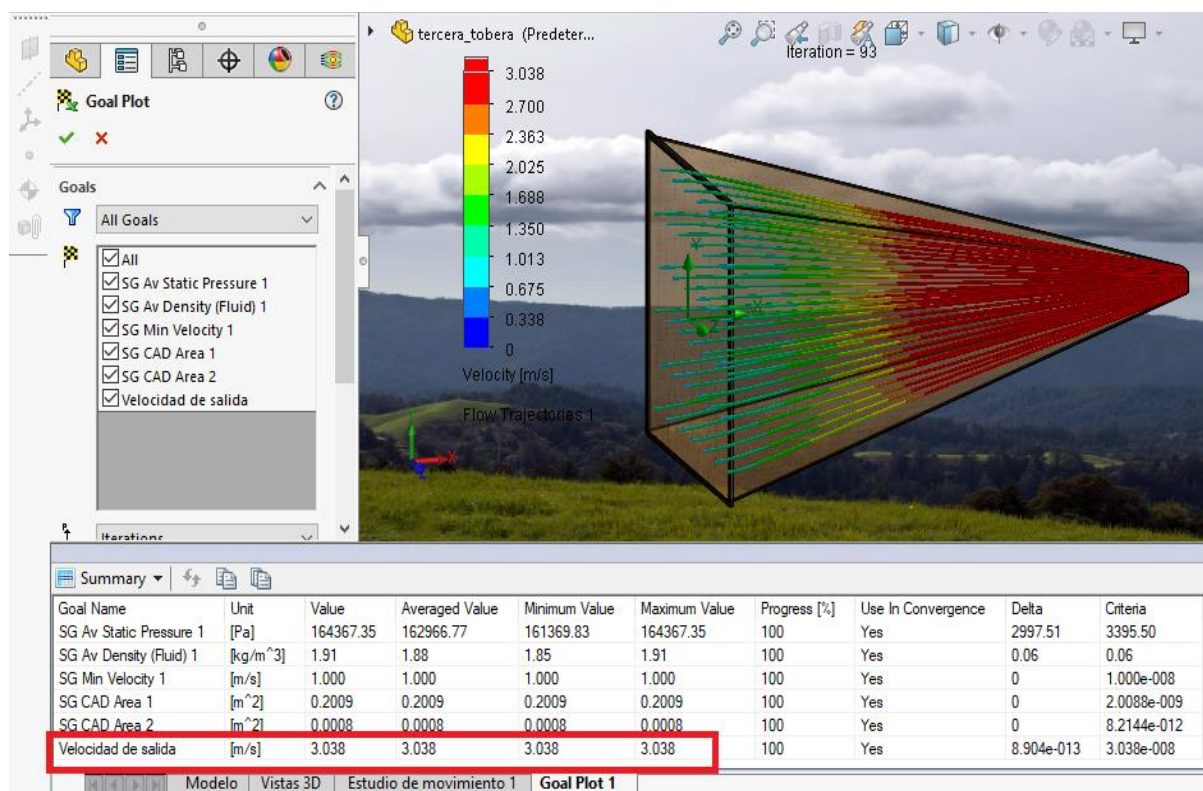
La simulación se realizó tomando 1m/s como velocidad de entrada del viento, las dimensiones de la tobera fueron de 40cm por lado a la entrada y 3cm por lado a la salida, con un largo de la tobera de 80cm (ver Fig. 35). Con estos datos la simulación dio como resultado una velocidad del viento a la salida de 3.03m/s (ver Fig. 36).



**Fig. 35.** Geometría en (cm) de la tercera tobera simulada

**Fuente:** Autores

**Elaboración:** Autores



**Fig. 36.** Velocidad de 3.03m/s obtenida a la salida de la tercera tobera

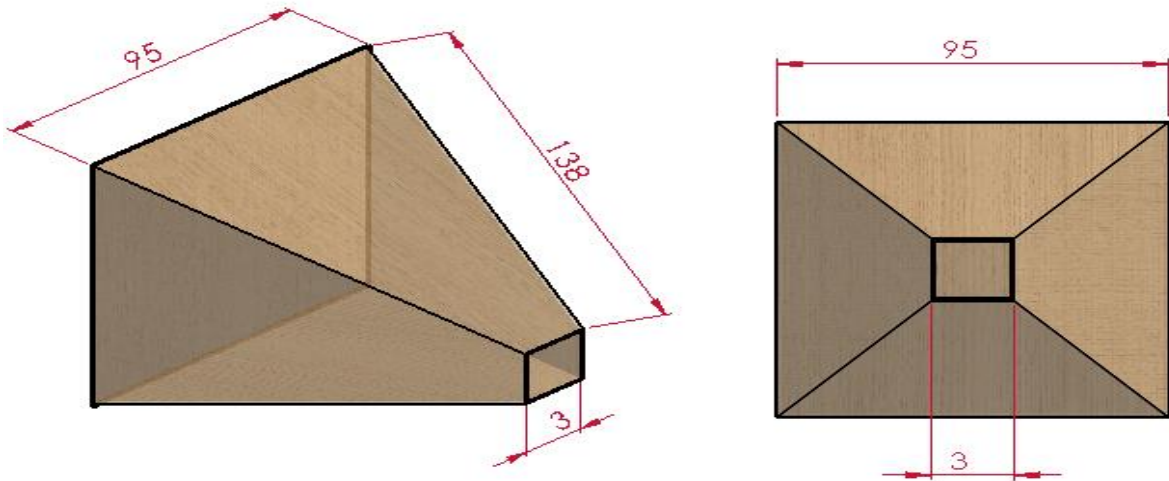
**Fuente:** Autores

**Elaboración:** Autores



**- Cuarta simulación de tobera.**

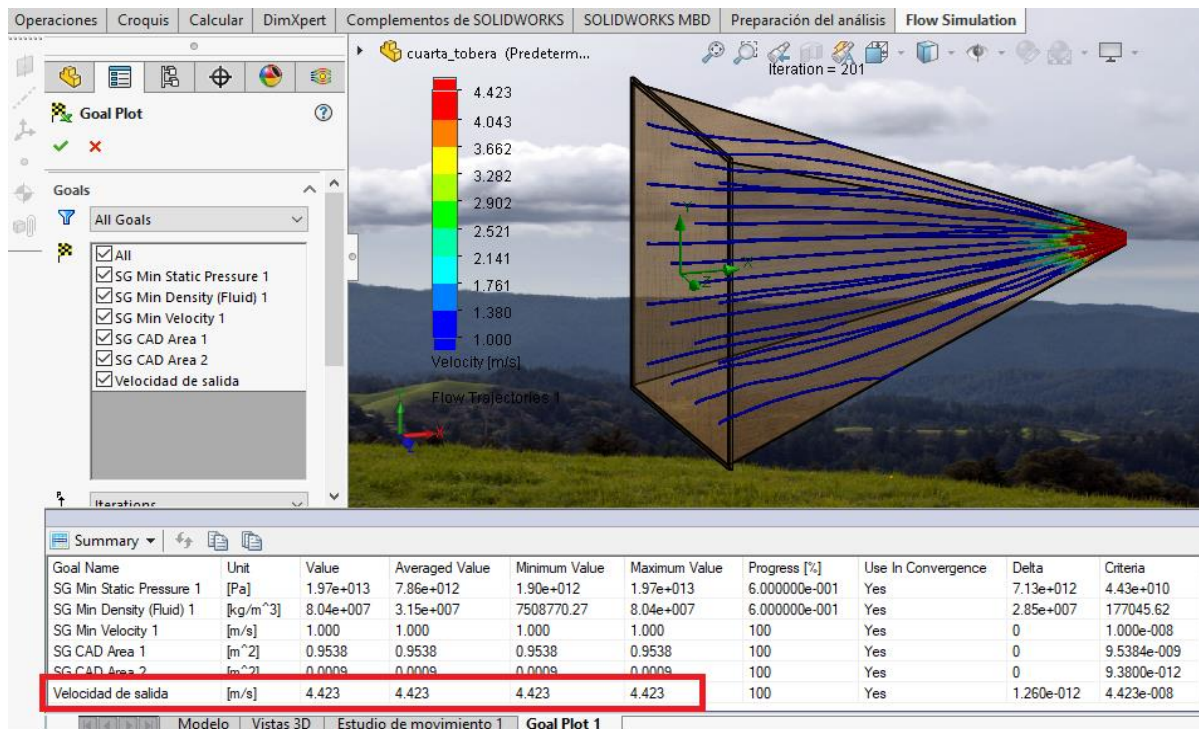
La cuarta simulación se realizó tomando 1m/s como velocidad de entrada del viento, las dimensiones de la tobera fueron de 95cm por lado a la entrada y 3cm por lado a la salida, el largo de la tobera fue de 138cm (ver Fig. 37). Con estos datos la simulación dio como resultado una velocidad del viento a la salida de 4.42m/s (ver Fig. 38).



**Fig. 37.** Geometría en (cm) de la cuarta tobera simulada

Fuente: Autores

Elaboración: Autores



**Fig. 38.** Velocidad de 4.42m/s obtenida a la salida de la cuarta tobera simulada

Fuente: Autores

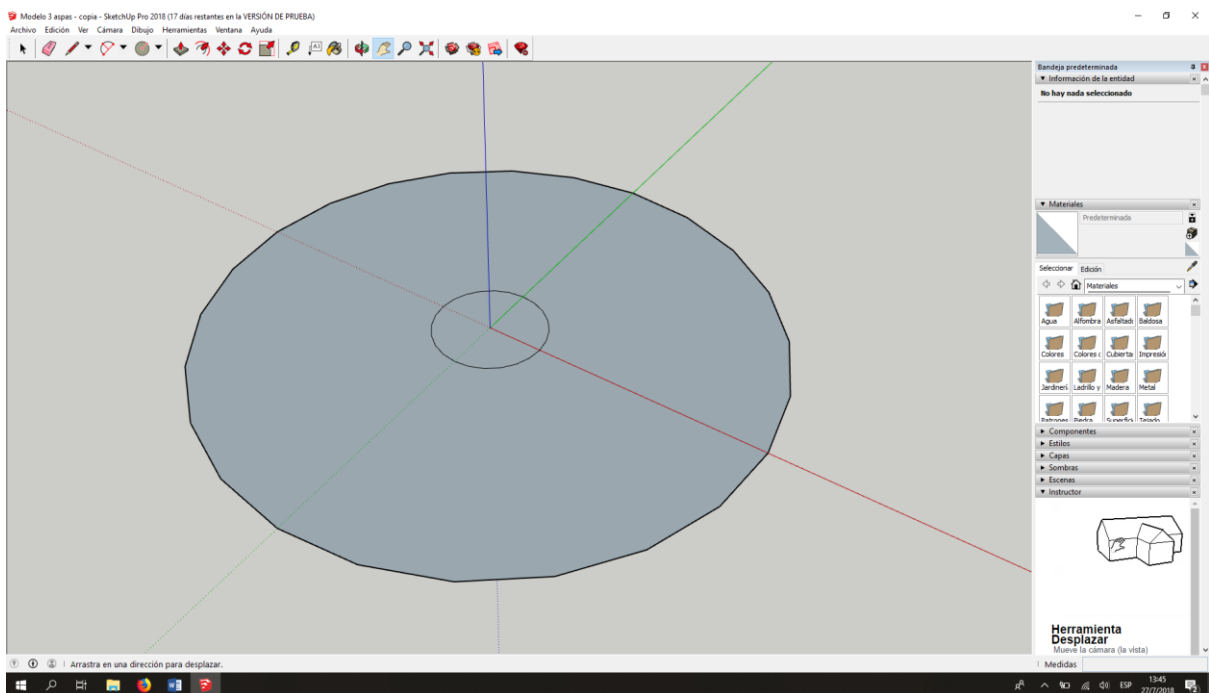
Elaboración: Autores

## ANEXO B

### Procedimiento de diseño de las turbinas del microgenerador eólico

#### - Construcción del diseño de la turbina de 3 aspas.

Para empezar con la construcción de la turbina, se abre el aplicativo SketchUp y se crea una nueva "Plantilla Simple-Metros". Luego, se ubica en "formas" "círculo", y desde el punto origen se dibuja un círculo con la medida del diámetro total de la turbina, y un círculo más pequeño en donde irá el orificio para sujetar al pin del motor que se utilizará para realizar las pruebas (ver Fig. 1).

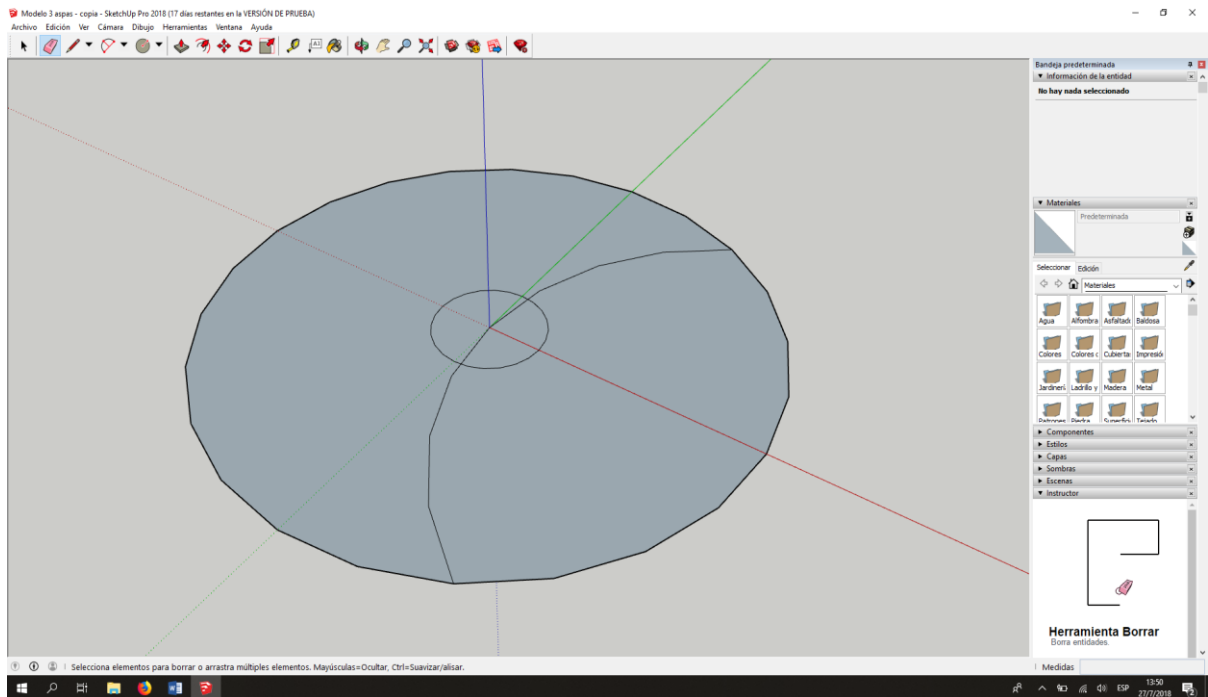


**Fig. 1.** Creación de la base de la turbina

**Fuente:** Autores

**Elaboración:** Autores

Después de dibujada la base de la turbina, desde un extremo del círculo se dibuja un semicírculo hacía el punto central, para poder dividir en 3 partes iguales en donde irán ubicadas las aspas del diseño (ver Fig. 2).

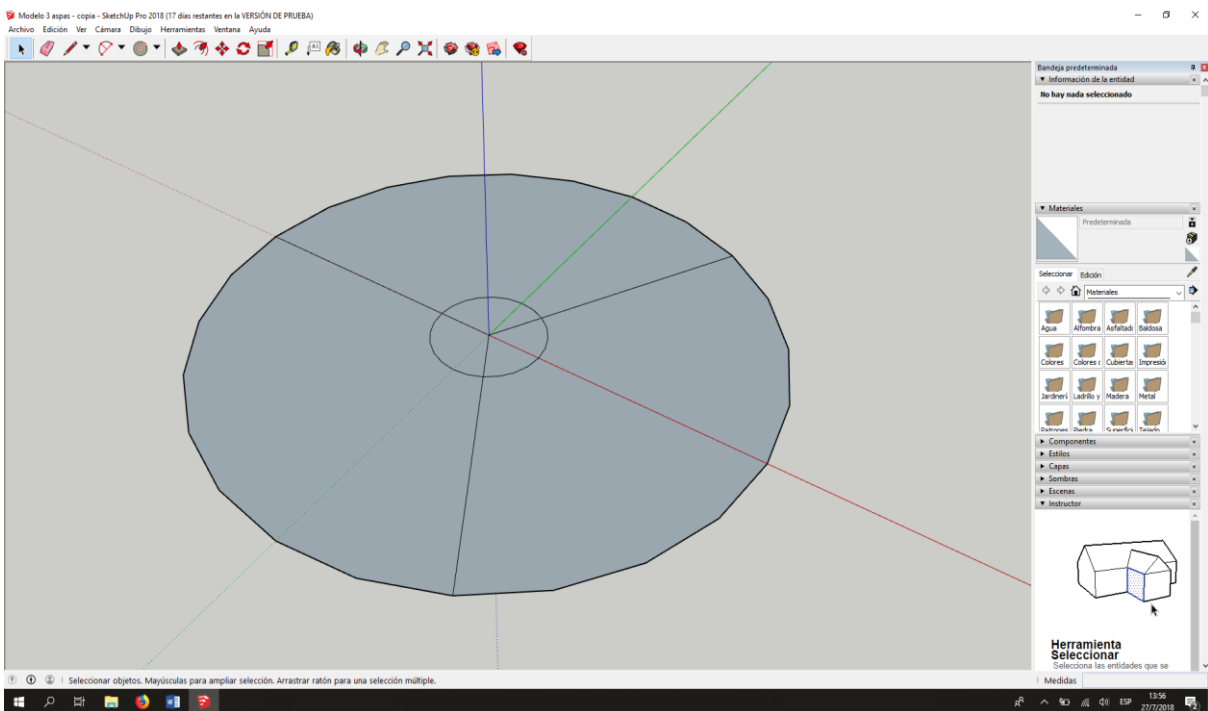


**Fig. 2.** Creación de semicírculo para dividir en 3 partes iguales

**Fuente:** Autores

**Elaboración:** Autores

Una vez realizado el semicírculo, se ubica en “líneas” “línea”, y desde el punto origen se dibuja una línea hacia el extremo contrario que se utilizó para realizar el semicírculo, y hacia ambos extremos del semicírculo (ver Fig. 3).



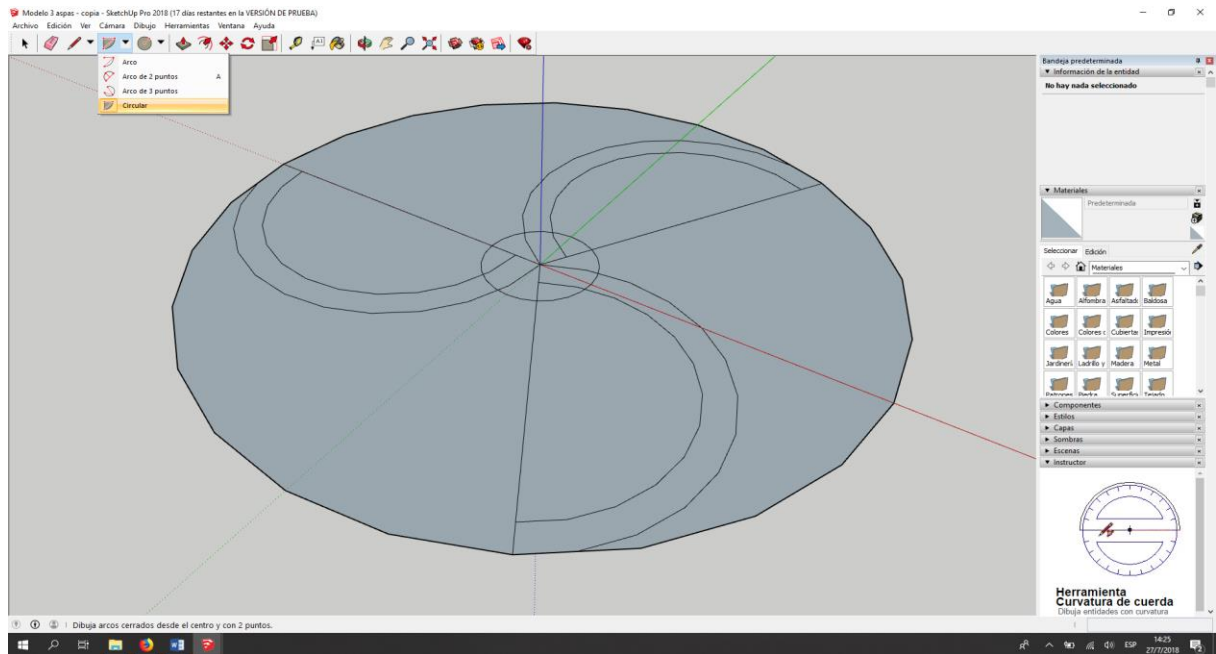
**Fig. 3.** División del círculo en 3 partes iguales

**Fuente:** Autores



**Elaboración:** Autores

Luego, para la creación de las aspas, se ubica en “arcos” “circular”, y desde el medio de cada línea hasta el punto origen se crea un arco, posteriormente se crea otro arco más pequeño, que servirá con el ancho de cada aspa (1mm), desde el centro de cada línea hasta un poco antes del punto central, dependiendo el ancho que se desee (ver Fig. 4.).

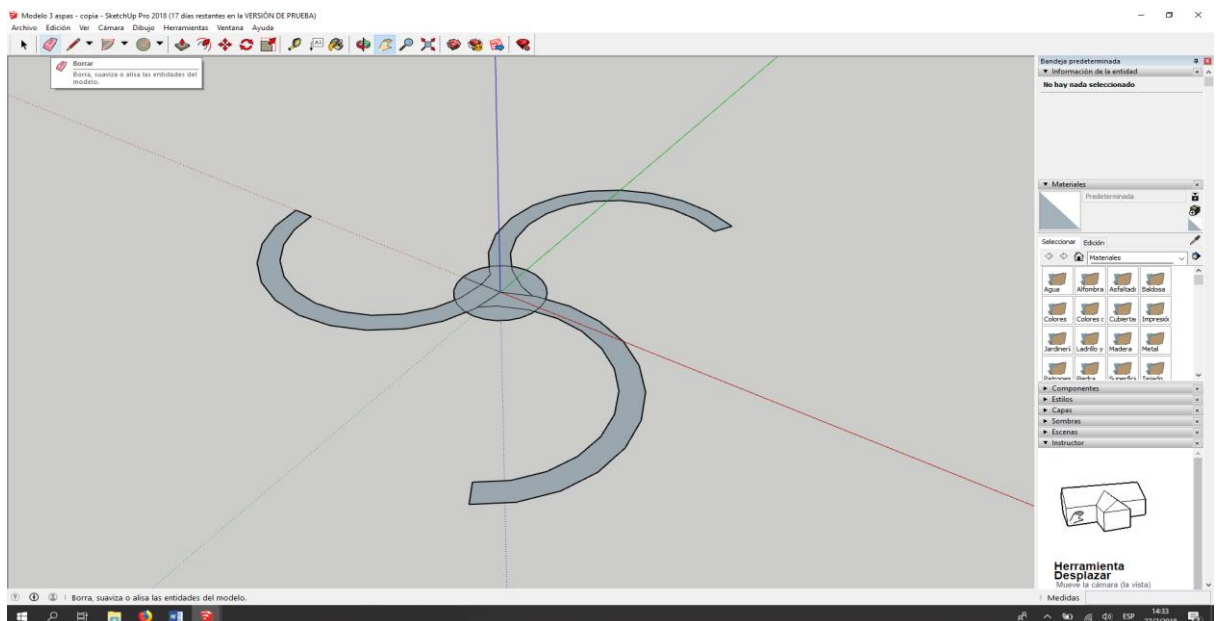


**Fig. 4.** Creación de las 3 aspas de la turbina

**Fuente:** Autores

**Elaboración:** Autores

Una vez dibujadas las aspas, procedemos a “borrar” el círculo externo. También se borró las 3 líneas de la división del círculo, ya que no serán de utilidad (ver Fig. 5).

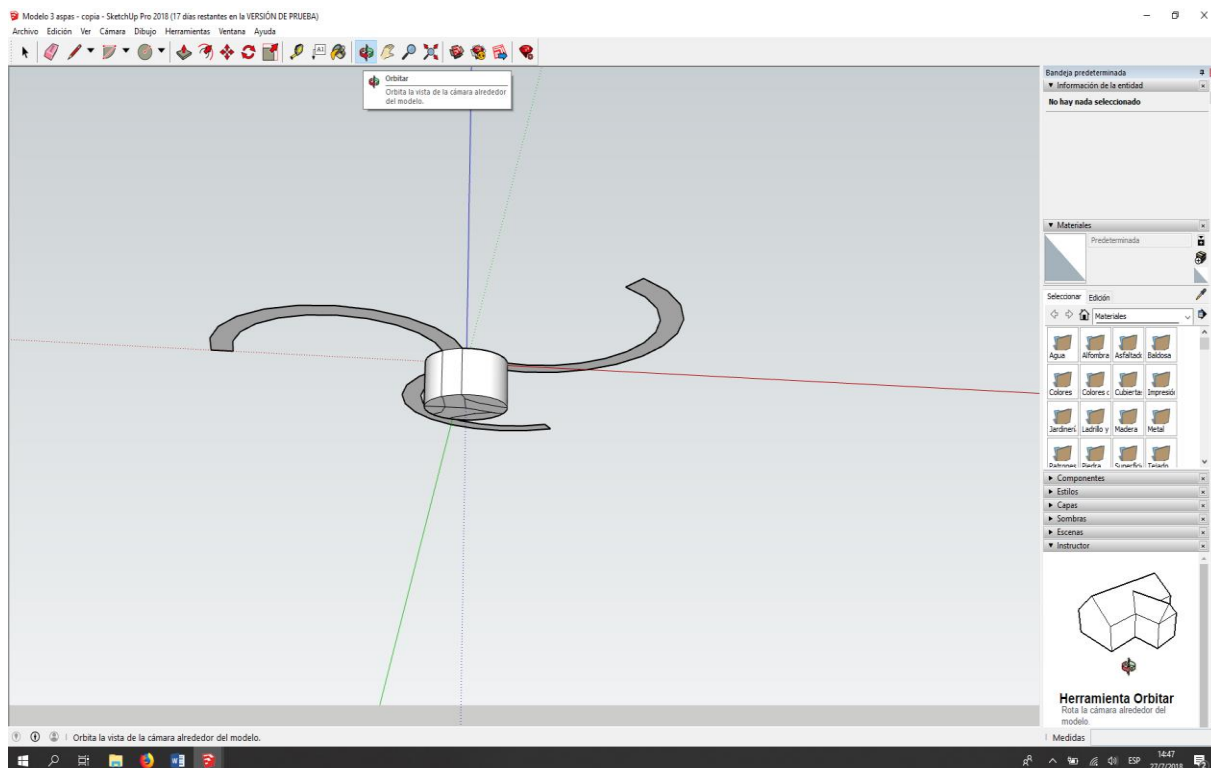


**Fig. 5.** Eliminación de las líneas que no serán utilizadas

**Fuente:** Autores

**Elaboración:** Autores

Al tener el diseño de la turbina, se procede a dar la altura a la base de la turbina. Se seleccionó “orbitar” para cambiar la vista del diseño y luego se seleccionó “empujar/tirar” y se selecciona el área la cual vamos a estirar, ingresando la altura que se desee (ver Fig. 6).

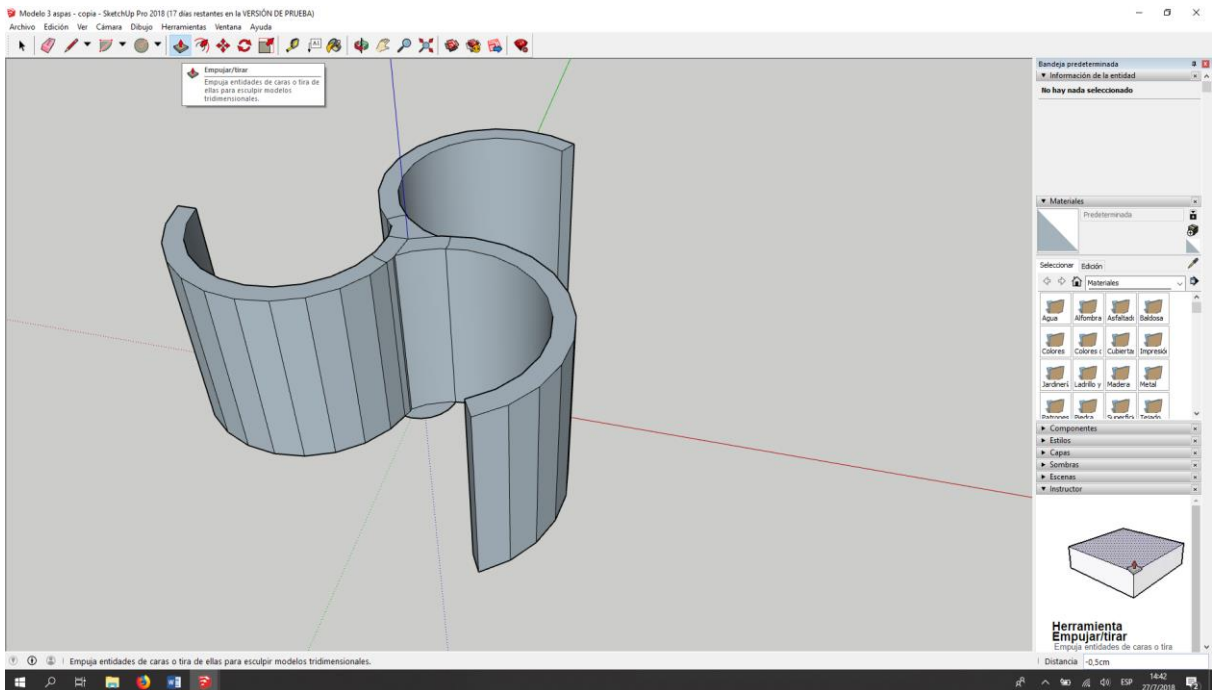


**Fig. 6.** Altura de la base de la turbina

**Fuente:** Autores

**Elaboración:** Autores

Después de estirar la base, se cambió nuevamente de vista seleccionando “orbitar” para luego poder estirar las aspas de la turbina (ver Fig. 7).

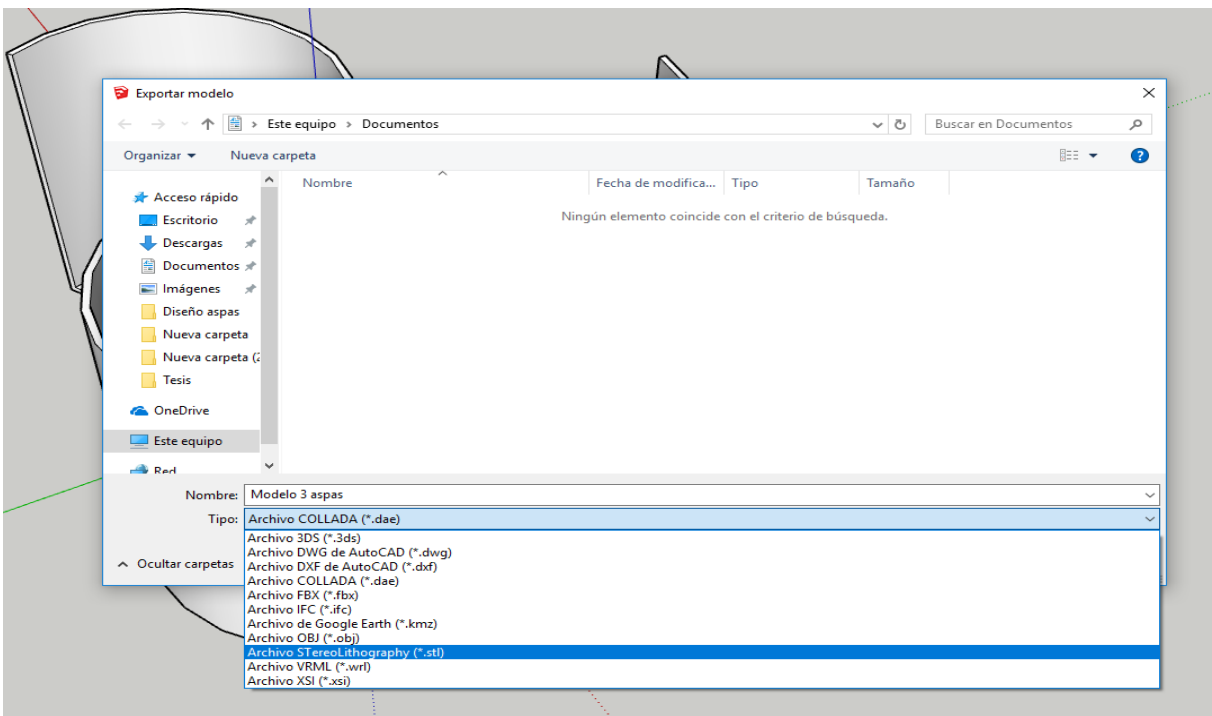


**Fig. 7.** Altura de las aspas de la turbina

**Fuente:** Autores

**Elaboración:** Autores

Una vez terminado el diseño de la turbina, se debe guardar el archivo ".stl" para luego imprimirlo en 3D, lo cual se selecciona "archivo" "exportar" "modelo 3D" y se selecciona ".stl" (ver Fig. 8).



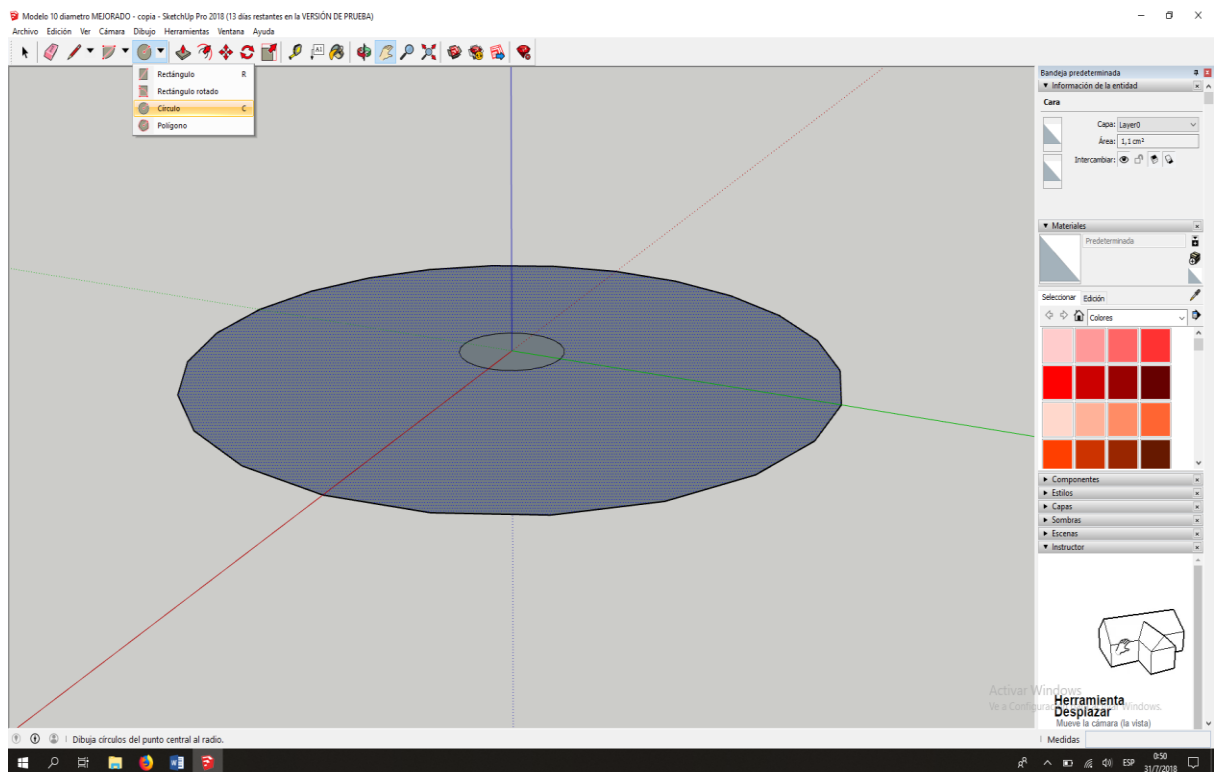
**Fig. 8.** Guardar archive con ".stl"

**Fuente:** Autores

**Elaboración:** Autores

## - Construcción del diseño de la turbina de 2 aspas.

Para empezar con la construcción de la turbina, se abre el aplicativo SketchUp y se crea una nueva "Plantilla Simple-Metros". Luego, se ubica en "formas" "círculo", y desde el punto origen se dibuja un círculo con la medida del diámetro total de la turbina, y un círculo más pequeño en donde irá el orificio para sujetar al pin del motor que se utilizará para realizar las pruebas (ver Fig. 9).

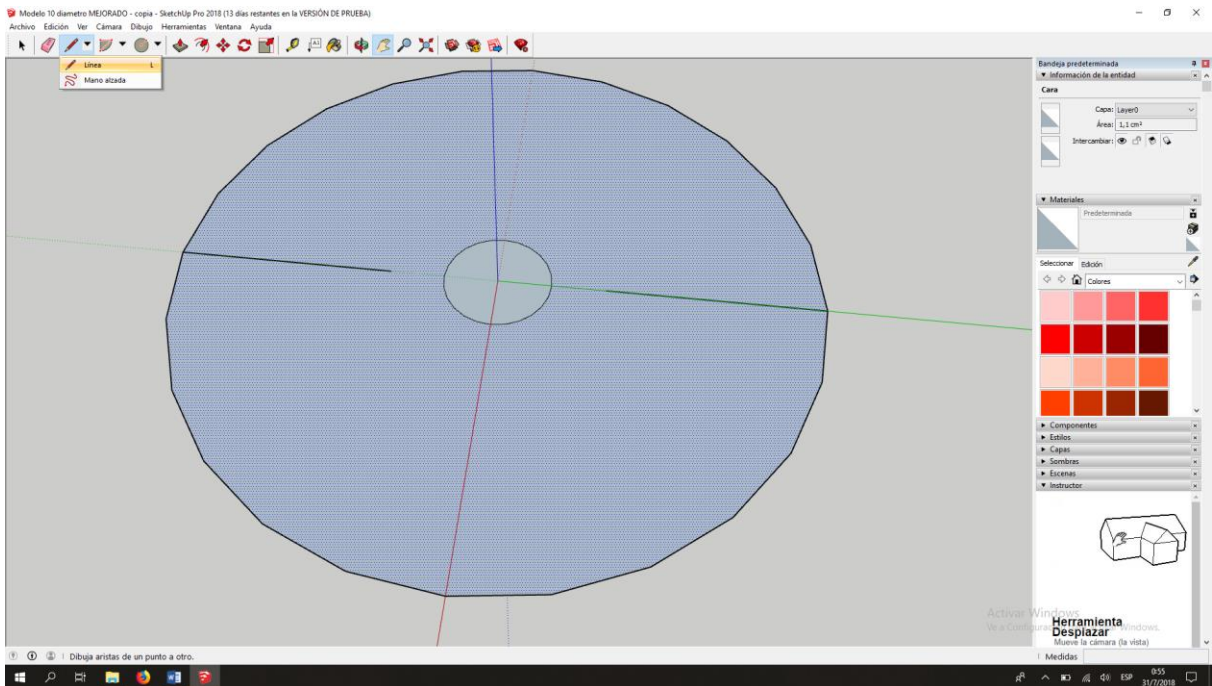


**Fig. 9.** Creación de la base de la turbina

**Fuente:** Autores

**Elaboración:** Autores

Después se necesita dividir el diámetro del círculo en 3 partes iguales, entonces con la medida previamente establecida de la división del diámetro, desde un extremo del círculo se dibuja una "línea" con dicha medida, y desde el otro extremo del círculo se dibuja otra "línea" con la misma medida (ver Fig. 10).

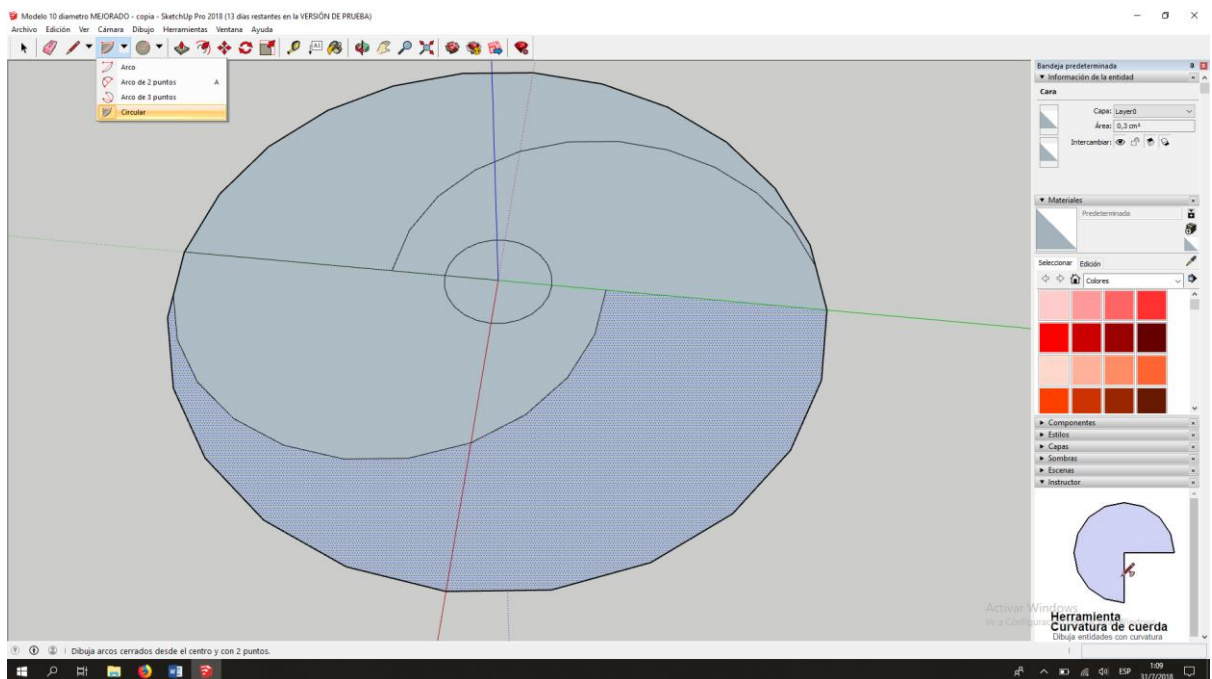


**Fig. 10.** División del diámetro en 3 partes iguales

**Fuente:** Autores

**Elaboración:** Autores

Después de dibujadas las líneas desde los extremos del círculo hacía el centro, seleccionando “arcos” “circular” realizamos dos semicírculos contrarios desde los puntos más cercanos al punto central hasta los extremos del círculo (ver Fig. 11).

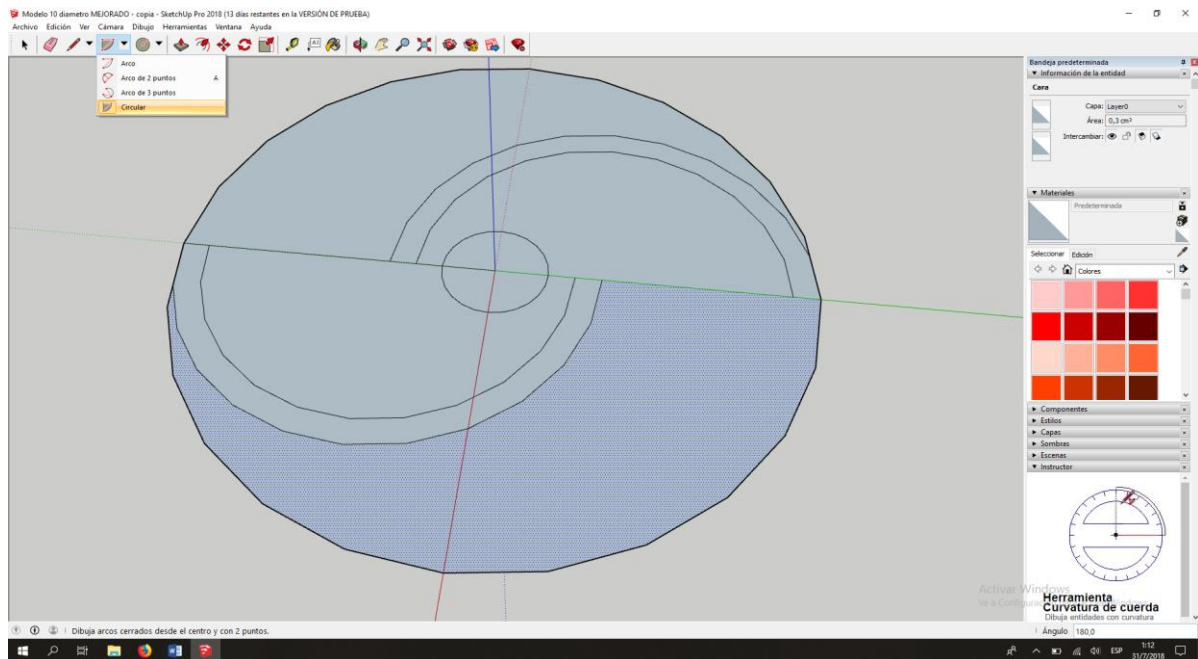


**Fig. 11.** Creación de dos semicírculos contrarios

**Fuente:** Autores

**Elaboración:** Autores

Posteriormente se crea otro arco más pequeño, que servirá con el ancho de cada aspa (1mm), desde los puntos más cercanos al punto central hasta un poco antes de los extremos del círculo dependiendo el ancho que se busque (ver Fig. 12).



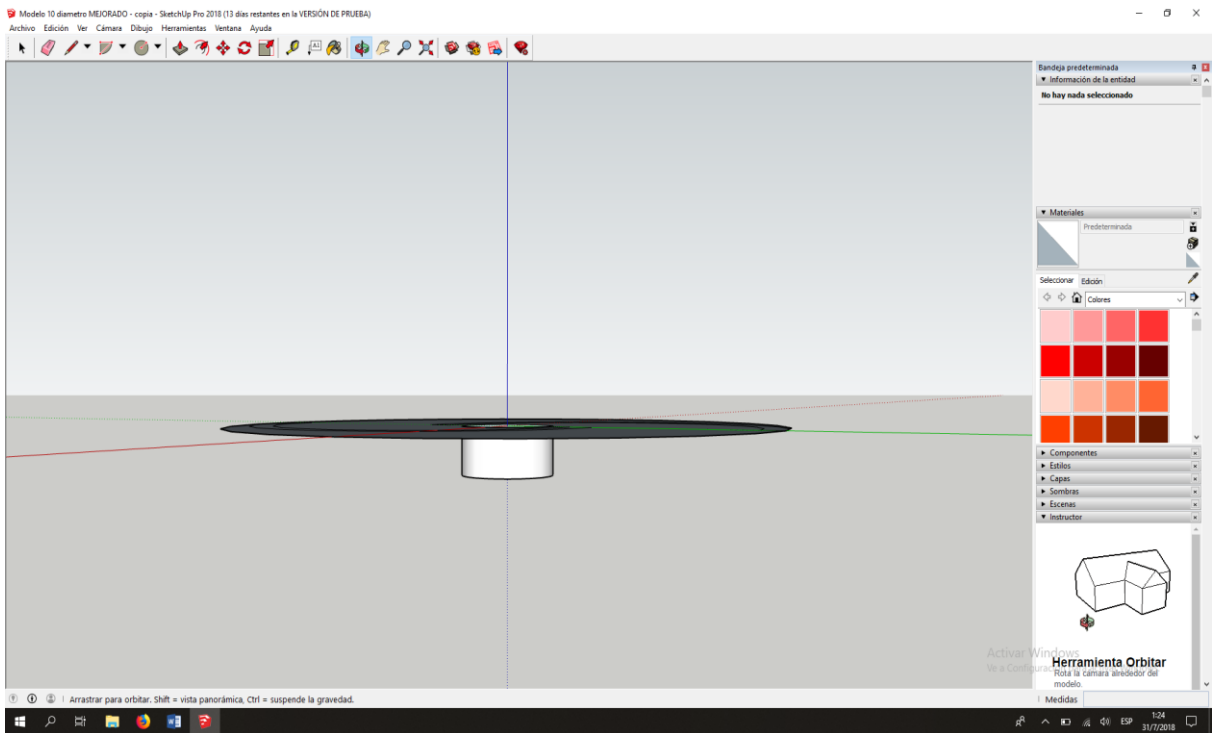
**Fig. 12.** Creación de las dos aspas de la turbina

**Fuente:** Autores

**Elaboración:** Autores

Al tener el diseño de la turbina, se procede a dar la altura a la base de la turbina. Se seleccionó “orbitar” para cambiar la vista del diseño y luego se seleccionó “empujar/tirar” y se selecciona el área la cual vamos a estirar, ingresando la altura que se desee (ver Fig. 13).



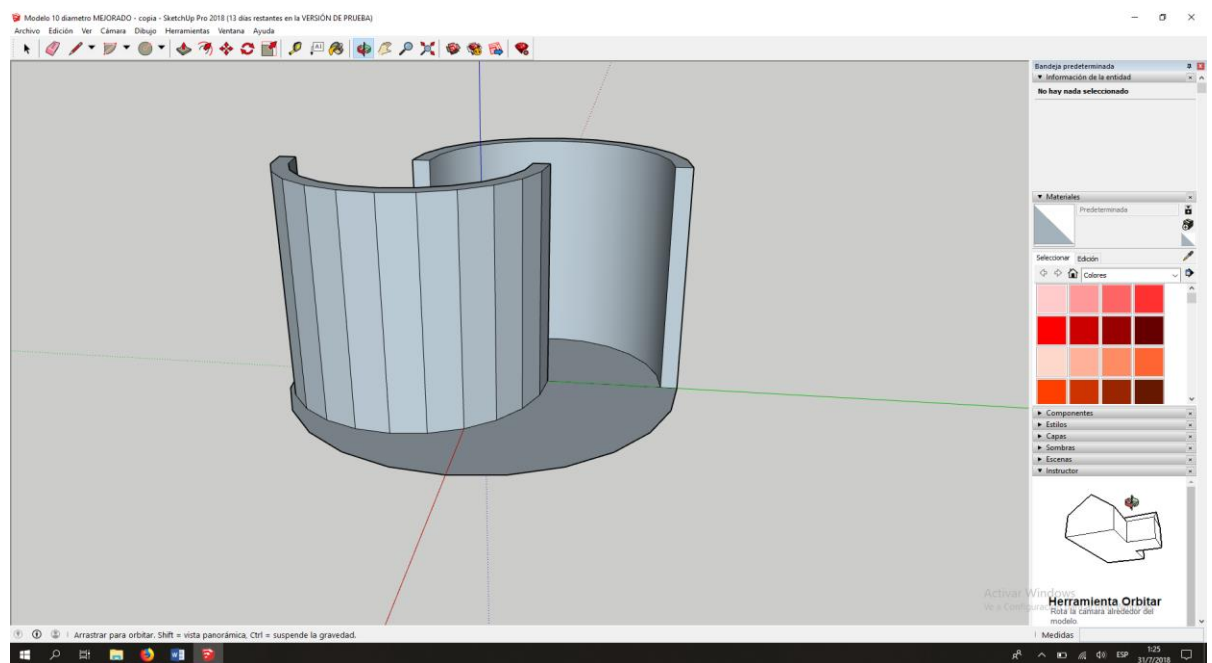


**Fig. 13.** Altura de la base de la turbina

**Fuente:** Autores

**Elaboración:** Autores

Después de estirar la base, se cambió nuevamente de vista seleccionando “orbitar” para luego poder estirar las aspas de la turbina (ver Fig. 14).

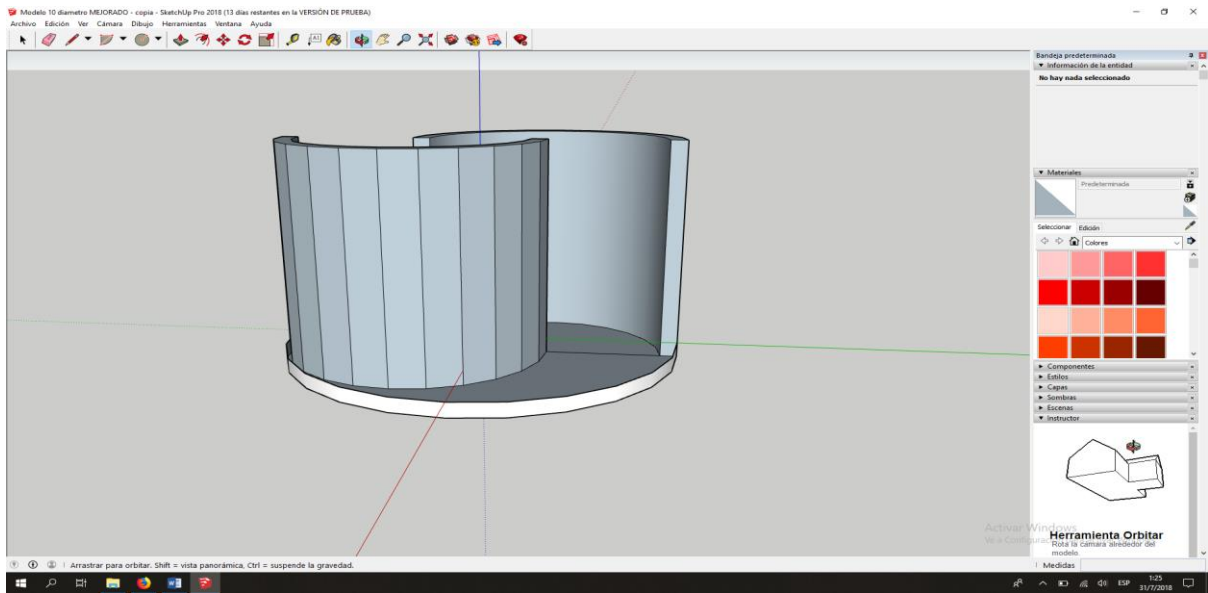


**Fig. 14.** Altura de las aspas de la turbina

**Fuente:** Autores

**Elaboración:** Autores

Después de estirar las aspas, se procedió a estirar el círculo central en donde sostiene las dos aspas (ver Fig. 15).

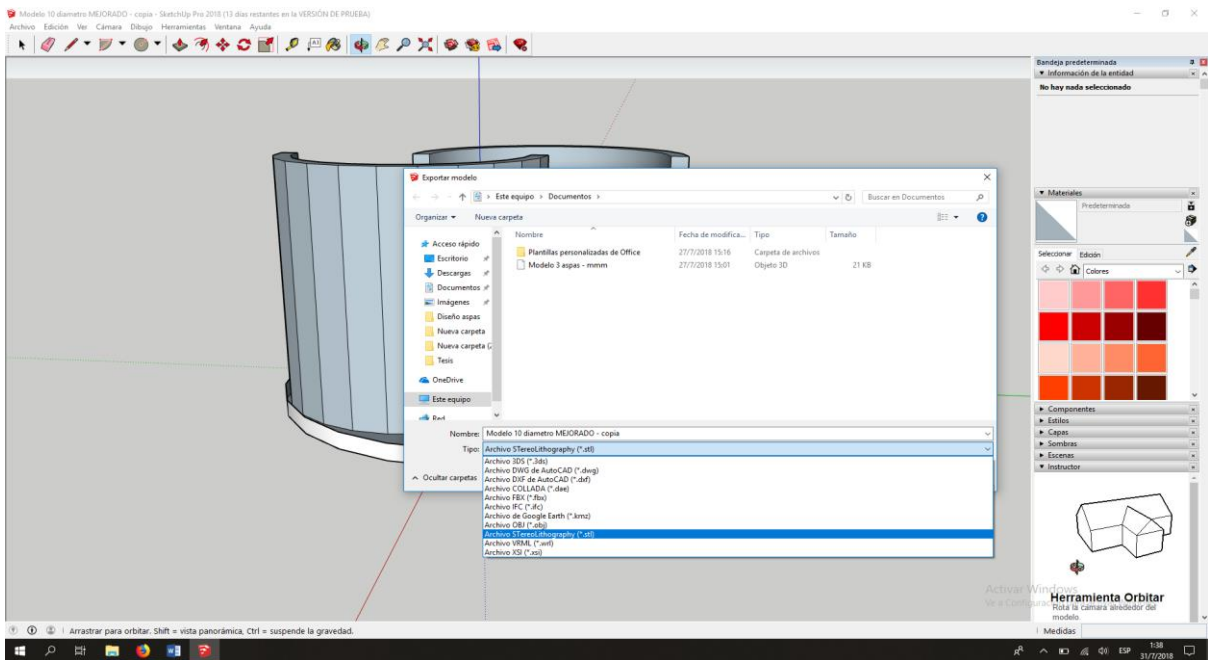


**Fig. 15.** Altura de las aspas de la turbina

**Fuente:** Autores

**Elaboración:** Autores

Una vez terminado el diseño de la turbina, se debe guardar el archivo “.stl” para luego imprimirlo en 3D, lo cual se selecciona “archivo” “exportar” “modelo 3D” y se selecciona “.stl” (ver Fig. 16).



**Fig. 8.** Guardar archive con “.stl”

**Fuente:** Autores

**Elaboración:** Autores



## ANEXO C

### Hoja técnica del anemómetro “KKMOON GM8908”

#### Specifications:

Air Speed:

Range: 0-30m/s, 0-90 km/h, 0 - 5860ft/min, 0-65mph, 0 - 55Knots

Resolution: 0.1m/s or 0.3km/h, 19ft/min, 0.2mph, 0.2Knots

Threshold: 0.1m/s or 0.3km/h, 39ft/min, 0.2mph, 0.1Knots

Accuracy:  $\pm 5\%$

Air Temperature:

Range: -10 - 45°C, 14 - 113°F

Resolution: 0.2°C, 0.36°F

Accuracy:  $\pm 2^\circ\text{C}$ ,  $\pm 3.6^\circ\text{F}$

Power Supply: 1 \* 3V CR2032 battery (not included)

Thermometer: NTC thermometer

Operating Temperature: -10 ~ 45°C (14 ~ 113°F)

Operating Humidity: Less than or equal to 90% RH

Storage Temperature: -40 ~ 60°C, -40 ~ 140°F

Power Consumption: About 3mA

Item Size: 10.5 \* 6 \* 2cm / 4.13 \* 2.36 \* 0.79in

Weight: 63g / 2.22oz

## ANEXO D

### Especificaciones técnicas del motor-generator DC de 12V

Voltage		No Load		On Load				
Operating Range	Nominal Voltage	Speed	Current	Speed	Current	Torque		Output
		r/min	A	r/min	A	g.cm	mN.m	W
3-12	12V	5600	0.025	4800	0.16	24.0	2.35	1.18
4-12	12V	3700	0.018	3000	0.09	20.0	1.96	0.62
3-12	9V	4200	0.025	3600	0.11	15.0	1.47	0.55
	12V	5600	0.030	4900	0.14	20.0	1.96	1.01

## ANEXO E

### Especificaciones técnicas del multímetro “PROSKIT 3PK-8200G”

Model Description		DMM w/Mechanical Prevent Mistaken Operation
Basic features	Counts	1999
	Digits	3 1/2
	Basic DC accuracy	0.80%
	Auto/Manual ranging	Manual
Measurements	DC Voltage	2/20/200 V $\pm$ 0.5% 1000 V $\pm$ 0.8%
	AC Voltage	2/20/200 V $\pm$ 1.0% 750 V $\pm$ 1.2%
	DC Current	2m/20m A $\pm$ 1.0% 200m A $\pm$ 1.5% 10A $\pm$ 2.0%
	AC Current	2m A $\pm$ 1.2% 200m A $\pm$ 2.0% 10A $\pm$ 3.0%
	Resistance	200/2K/20K/200K/2M/20M $\Omega$ $\pm$ 1.0%
	Frequency	20K Hz $\pm$ 1.5%
	Capacitance	2n/20n/200n/2 $\mu$ /20 $\mu$ F $\pm$ 4.0%
	Temperature	-20~0 °C $\pm$ 5.0% 0~400 °C $\pm$ 3.0% 400~1000 °C $\pm$ 3.0%
	Duty cycle	No
	Continuity with beeper	Yes
	Diode test	Yes
	Transistor test	No
	LED test	No