

# ANÁLISIS DE LA CANTIDAD DE ENERGÍA CINÉTICA APROVECHABLE PRESENTE EN EL TÚNEL DE DAZA PRODUCTO DE LA INTERACCIÓN DE LOS VEHÍCULOS CON EL ENTORNO.

Dervizon Zambrano.

San Juan de Pasto – Nariño.

Corporación Universitaria Autónoma de Nariño.

dervizonzambrano@gmail.com

*Abstract - this document presents the research for the development of a prototype that takes advantage of the kinetic energy of the fluid (air) inside the Daza tunnel, municipality of Pasto, where the possibility of generating electrical energy with normal energy is analyzed. movement of vehicles.*

*In order to find the highest energy production, different types of wind turbines and aerodynamic profiles are analyzed in the production of electrical energy, in the same way calculations, designs, analyzes and simulations are carried out, getting as close as possible to reality. Obtaining as a result a percentage of clean energy production with this novel system.*

## I. Introducción

La energía eléctrica es vital en todos los hogares puesto que muchas de las actividades cotidianas requieren el uso de la misma, como: ver tv, hablar por teléfono, tener acceso a internet, iluminación, preparar alimentos, entre otros. De igual manera el sistema industrial productivo depende directamente de la electricidad para el abastecimiento y funcionamiento de productos de primera necesidad como: instrumentos médico-sanitarios, medicamentos, herramientas y equipos de hospital, entre otros. Así también las infraestructuras como puentes, túneles, trabajos de obras y minería dependen directamente de la electricidad.

El túnel de daza considerado como uno de los proyectos viales más importantes del sur de país, posee 1.710m de longitud con una calzada bidireccional de 1 carril, 18 sistemas de señalización y límite de velocidad variable, sistema de cierre de túnel con 4 semáforos y 4 barreras, 22 postes SOS, sistema de detección de incendios, 20 cámaras, 4 sensores del sistema de iluminación y 12 ventiladores de chorro que mantienen el nivel de CO<sub>2</sub> recomendado en el interior del túnel. Las instalaciones poseen los sistemas de funcionamiento con los más altos estándares europeos, con el fin de brindar seguridad y confort a los más de 4.000 vehículos que circulan diariamente por el interior de la

infraestructura.

El túnel de Daza no posee un sistema para la producción de energía eléctrica renovable, por el contrario, su consumo es totalmente de la red eléctrica común. Para junio del 2020 presentó un consumo estimado de 46,7 KWh, aportando 164.38 gramos de Co<sub>2</sub> por cada Kwh de consumo.

Con este estudio de investigación se pretende brindar una posible alternativa para la producción de energía limpia en el interior del túnel, utilizando como fuente de energía el ambiente y los vehículos que transitan a diario en la infraestructura, con el fin de aportar un porcentaje de energía eléctrica renovable al sistema eléctrico convencional, de igual forma disminuyendo la dependencia a la energía convencional.

## II. Planteamiento del problema

### A. Descripción del problema

Desde la llamada revolución industrial hasta nuestros días, los procesos industriales se desarrollan quemando combustibles fósiles como petróleo, carbón, gas, gasolina y diésel. Aprovechándose de manera desmedida de los recursos naturales del planeta. Por consecuencia estas actividades están cambiando la composición de la atmósfera terrestre, ya que cada vez se emiten más gases y compuestos de efecto invernadero que pueden permanecer en la atmósfera por más de 50 años.

El mundo se encuentra en una difícil situación energética, existe cada vez mayor demanda de energía eléctrica, según la edición (68) de la Revisión Estadística de la Energía Mundial de la compañía BP, China posee el mercado energético con más crecimiento anual registrado durante 18 años consecutivos con un aumento del 4,3 % alcanzando el equivalente a 3.200 millones de toneladas de crudo, siguiendo con los estados unidos con el equivalente a 2.300 millones de toneladas de crudo. (Çağatay, 2019)

A diferencia de los países desarrollados anteriormente

nombrados Colombia posee una excelente geografía y recursos naturales como el agua para producir energía eléctrica en las centrales hidroeléctricas, de acuerdo con cifras de la firma XM, operador del sistema interconectado nacional (SIN) y administrador del mercado de energía mayorista de Colombia, la oferta de las compañías hidroeléctricas es de 11.834,57 megavatios (MW). La cifra corresponde al 68% de la oferta energética del país, (República, 2020) sin embargo la matriz energética Colombiana es vulnerable ante escenarios de hidrología crítica, como el fenómeno del niño, es así como durante los periodos secos de, 2009- 2010 y 2015-2016-2019, las fuentes de generación térmica cubrieron casi el 50% de la demanda eléctrica nacional emitiendo 11.920,809 toneladas de CO2 producto de la combustión de recursos naturales para obtener energía eléctrica y suplementar la crisis energética.

En el departamento de Nariño la principal producción eléctrica es de las fuentes hídricas, de ahí que el territorio nariñense posee 4 plantas, hidroeléctricas Río Mayo, Río Bobo, Río Sapuyes y Julio Bravo, encargadas de suministrar energía eléctrica al departamento y algunos pueblos cercanos, como también exportar electricidad hacia el Ecuador. Sin embargo, ha sido afectada la producción a causa de las terribles épocas de sequía que se han presentado a lo largo de los años, recayendo de nuevo en las energías dañinas para el medio ambiente y así poder suplementar la pérdida de potencia en las hidroeléctricas.

No obstante, existen nuevas fuentes de energía limpia que tal vez no se conocen, un ejemplo de esto nos brinda, la BBC NEWS, como tus pasos pueden alumbrar una discoteca. Hay discotecas en distintas partes del mundo, desde Holanda hasta Japón, en las que los pasos de baile de los clientes permiten generar energía eléctrica.

El túnel de Daza para julio de 2020 tuvo un consumo estimado de 46,7 KWh el cual es principalmente de la red eléctrica común. Por otra parte, el túnel es la infraestructura que brinda la circulación a más de 4.000 vehículos diariamente tanto nacionales como internacionales, públicos como particulares, de carga y como de pasajeros, cada uno de estos aportando energía cinética en el ambiente. Por eso es importante poder aprovechar al máximo esta energía que en la actualidad está en un completo desperdicio.

#### *B. Formulación del problema*

¿Cuánta energía eléctrica se puede generar a partir de la energía cinética producida por los vehículos que transitan el túnel de Daza?

#### *C. Justificación*

Desde la revolución industrial hasta la actualidad, se han venido desarrollando los procesos industriales y tecnológicos, gracias a la energía obtenida por la transformación de los combustibles fósiles como petróleo, gas y carbón. A consecuencia el planeta ha venido experimentando cambios destructivos entre ellos aumento

del calentamiento global, deshielo de glaciares, contaminación excesiva del aire y el agua, tala de bosques, destrucción de ecosistemas y muchos más.

Por otra parte, con la intención de mejorar la calidad de vida para las futuras generaciones se ha impulsado el crecimiento de las energías renovables, como lo indica el informe de las Naciones Unidas, demostrando que la caída de los costos de instalación de energías renovables implica que las inversiones futuras pueden ofrecer mayores resultados de los esperados. En 2019, la capacidad de las energías renovables, excluyendo las grandes represas hidroeléctricas de más de 50 MW, creció 184 GWh, un 12% más que en 2018. (ONU, 2020)

Las energías renovables cada vez con más presencia a nivel mundial, los dispositivos cada vez son más pequeños y con mejores diseños, un claro ejemplo es: Energy to go: la central hidroeléctrica más pequeña del mundo, que es una mini turbina capaz de generar energía eléctrica con una fuente de agua pequeña, este dispositivo puede generar y almacenar carga para un teléfono o Tablet.

Los usuarios del túnel de Daza presentan admiración por la ingeniería, importancia y beneficios que brinda la infraestructura, es así que se cree que cualquier modificación en la misma impacta a muchos usuarios tanto nacionales como internacionales, mucho mejor si es para el mejoramiento y conservación del medio ambiente, con el aprovechamiento de la energía cinética que los vehículos inevitablemente brindan al ambiente del túnel, transformando esa energía cinética en energía eléctrica por medio de turbinas, que apoyan al consumo eléctrico del túnel.

Las turbinas eólicas existen de diferentes tipos y calados como también para los diferentes ambientes de funcionamiento que son diseñadas, es así como el túnel de daza presenta un entorno totalmente diferente a los sistemas actuales, siendo un reto como estudiante y equipo de colaboración para la búsqueda de una respuesta de la energía que pueda ser aprovechada.

Es tan importante avanzar de la misma manera en que el planeta sigue adelante por eso con este proyecto se pretende beneficiar principalmente al planeta ya que nuestro compromiso como seres pensantes estuviera en el cuidado de cada espacio que utilizamos. Posteriormente a la empresa que actualmente posee un consumo eléctrico del 100% a la red eléctrica común se beneficiara en la disminución de cierto porcentaje de energía consumida sucia y aportada por la energía renovable, de igual manera mejora la presentación de su obra civil frente a todos los usuarios, siendo el pionero en donde se puede aprovechar energía renovable en un túnel de transporte.

### **III.Objetivos**

#### *A. Objetivo general*

Analizar cuánta energía eléctrica se puede generar a partir de la energía cinética aportada al flujo de aire, como

consecuencia de los vehículos que transitan el túnel de Daza.

#### B. *Objetivos específicos*

- Identificar las zonas potenciales dentro de la infraestructura para el análisis propuesto.
- Calcular cuánta energía puede ser aprovechada por la turbina eólica, producto del flujo vehicular.
- Generar un diseño en donde se especifique el tipo de turbina debido a las condiciones de viento.
- Realizar simulación en software que permitan evaluar el modelo energético planteado.

### IV. MARCO REFERENCIAL

#### A. *Marco contextual*

El departamento de Nariño es un importante productor agrícola identificándose doce cadenas productivas, siendo las más importantes la papa, los lácteos. Las fibras naturales, la marroquinería y la caña de panela en la región andina, así como también la pesca, el cultivo de palma africana, el turismo y el cacao en la región pacífica. Siendo el sector agropecuario el de mayor participación a nivel departamental con un 32%, seguido por el comercio 7%, transporte 6% e industrial 3%, (REPÚBLICA, 2007). El departamento posee una superficie de 33.268 Kilómetros cuadrados, cuenta con una población de 1.766.008 habitantes, por el norte limita con el departamento del Cauca; por el oriente con el departamento del Putumayo; por el sur con el Ecuador; por el occidente con el Océano Pacífico. (en Colombia)

El desarrollo del proyecto se genera en el túnel de Daza ubicado en el sector de Daza, Pasto, Nariño. Variante Rumichaca- Pasto- Aeropuerto, consta de 1.710 m de longitud, 5 m de altura, dos carriles de 4 m cada uno y dos andares de 1 m. El túnel cuenta con 20 personas, entre técnicos, operarios y vigilantes, trabajando las 24 horas del día garantizando la seguridad y tranquilidad de los más de 4000 vehículos de transporte y pasajeros que transitan a diario por el túnel. (Narváez, 2013).

### V. MARCO TEÓRICO

#### A. *Energía eólica*

La energía eólica es la que utiliza la energía cinética del viento para generar energía eléctrica. Para ello se hace uso de los aerogeneradores, los cuales mueven una turbina y consiguen transformar la energía cinética del viento en energía mecánica.

Se considera viento a toda masa de aire en movimiento, que surge como consecuencia del desigual calentamiento de la superficie terrestre, siendo la fuente de energía eólica, que también se conoce como la energía mecánica que en forma de energía cinética transporta el aire en movimiento.

#### B. *Sistema para medir la velocidad del viento.*

La velocidad del viento mide la componente horizontal del desplazamiento del aire en un punto y en un instante determinado. Esta se mide mediante un anemómetro, y la

unidad de medida es normalmente metros por segundo, (m/s).

#### C. *tipos de generadores eólicos*

Existen varios tipos y tamaños de aerogeneradores o turbinas eólicas que en esencia su función es intercambiar la energía cinética del viento en energía mecánica, posteriormente se transmite a un generador el cual convierte la energía mecánica en energía eléctrica para su posterior consumo.

#### D. *generador eólico de eje horizontal*

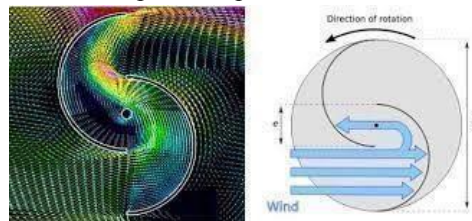
Los aerogeneradores de eje horizontal han experimentado progresivos cambios tecnológicos y mecánicos que hacen de estas máquinas una fuente de producción viable, por esta razón es que este tipo de aerogenerador es el más conocido y eficiente, enfocado principalmente a la producción de energía eléctrica a gran escala. Con torres que alcanzan rotores de 60m de diámetro y con torres de 80m de altura. Todas las turbinas de eje horizontal tienen su eje de rotación en la parte superior de la torre, dado que las rpm de las aspas son bajas es necesario utilizar una caja multiplicadora para aumentar la velocidad de rotación del generador eléctrico.



Energía eólica en Turquía. Fuente: (SIMUL WIND, 2019)

#### E. *generador eólico savonius*

El modelo de generador Savonius es el más simple. Su funcionamiento se basa en la fuerza de arrastre diferencial sobre dos superficies, es como una de las palas del rotor experimentan menos resistencia cuando se mueve en contra del viento que la que está a favor, esta diferencia causa que la turbina Savonius gire, como se puede observar en la ilustración 5. Este tipo de generador por lo general está constituido por dos o más palas, las cuales consisten en un cilindro hueco partido a la mitad, en el cual sus dos mitades han sido desplazadas para convertirse en una S.



Diseño y construcción de un modelo de un modelo de rotor eólico de eje vertical tipo Savonius para la obtención de energía mecánica. Fuente: (Echeverri, 2012)

#### F. *evaluación del recurso eólico*

Para evaluar la viabilidad del uso del viento como fuente de energía es necesario conocer las características del mismo y dado que el viento es un recurso variable y

aleatorio, se aplican técnicas de estadísticas para su análisis.

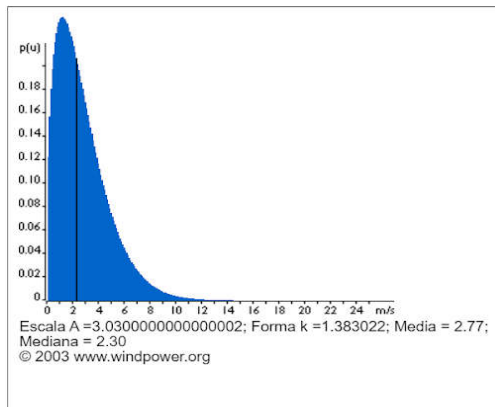
Los datos obtenidos en campo se realizan con la supervisión de un ente encargado del túnel de danza, como también con los equipos de protección personal. Se recorre el interior de la infraestructura, se toman y almacenan los datos requeridos para la investigación.



Día de campo en Túnel de Daza. Fuente, propia

G. *Distribución de weibull*

Programa trazador de la distribución de Weibull



El programa trazador basado en los datos obtenidos en el campo y en los diferentes cálculos determina una velocidad media para el diseño de:  $v_m = 2.77 \text{ m/s}$

H. *calculo densidad del aire*

La densidad del aire es fundamental para estimar la producción de energía eléctrica, cuanto mayor sea la densidad de la masa de aire que atraviesa el rotor del aerogenerador, mayor será su contenido de energía por metro cúbico, por ende mayor será la producción eléctrica. Para poder obtener la densidad del aire se utiliza la versión simplificada de la fórmula publicada por P. Giacomo en 1982 la cual es una fórmula para determinar la densidad del aire húmedo. En 1992 R. Davis publicó esta fórmula aplicando algunas correcciones, ambas fórmulas fueron apoyadas y recomendadas para su uso por el comité internacional de pesas y medidas (CIPM) de ahí se les conoce como fórmulas CIPM-1981 y CIPM-1981/91 respectivamente. En 2008, A Picard publicó la nueva

fórmula recomendada por la CIPM, la cual se conoce como fórmula CIPM-2007, en donde se evidencian mejoras y cambios significativos efectuados a la CIPM-1981/91. (Peña and Becerra) a continuación se presenta la versión simplificada de la fórmula CIPM-2007, versión exponencial.

Para determinar la densidad del aire se hace uso de los datos proporcionados por Meteoblox en donde para el municipio de Daza su temperatura máxima es de 17°C, presión atmosférica de 1012 hpa, y su humedad del aire 53%. con lo que se procede a determinar la densidad del ambiente así.

Registre los datos que se solicitan			
Calcular con:	<input checked="" type="radio"/> Humedad Relativa		
	<input type="radio"/> Temperatura de Punto de Rocío		
Magnitud	Valor	Incertidumbre (k = 1)	
Temperatura, t:	17 °C	3	°C
Presión, p:	101200 Pa	10	Pa
Humedad Relativa, h:	53 %	2	%
<input type="button" value="Realizar Cálculo"/>			
Resultado			
Densidad del aire:	1.2108936	kg/m <sup>3</sup>	
Incertidumbre (k = 1):	0.0134439	kg/m <sup>3</sup>	

I. *Selección del tipo de aerogenerador:*

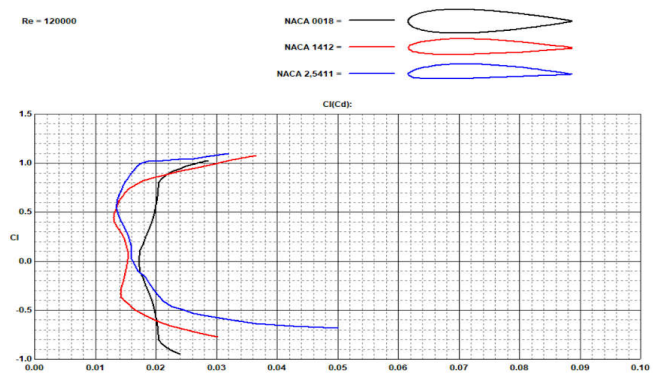
En el proceso de selección del tipo de generador eólico a diseñar, se incluye un análisis comparativo de soluciones de diseño disponibles, teniendo en cuenta los diferentes parámetros como, la zona de instalación, tamaño, potencial eólico, costos, eficiencia y mantenimiento. Se procede a realizar una matriz de selección, en donde se resume la evaluación de cada alternativa conforme a cada uno de los criterios aportados.

La matriz de selección mostrada a continuación, posee una escala cuantitativa de medida. Cada diseño de aerogenerador ocupa un renglón de la matriz, las columnas corresponden a los parámetros que se tienen en cuenta para evaluar cada diseño de aerogenerador considerado, de igual manera a cada uno de estos parámetros se les asigna un factor de ponderación que mide su importancia relativa y la suma de todos estos factores tiene el valor de 1.

De igual manera cada uno de los diseños se le realiza su calificación dependiendo de la importancia que este implique en la evaluación, las calificaciones se multiplican por el factor de ponderación ya seleccionado y finalmente se suman los productos para cada uno de los diseños de aerogeneradores evaluados. Finalmente, las calificaciones le dan un rango a cada uno de los diseños con lo cual se puede comparar cuantitativamente la importancia de cada uno con respecto a los demás diseños.



Factor de ponderación	velocidad de viento		Potencia generada	Eficiencia	Fabricación	Mantenimiento	Costo	Rango
	Altas ( $\geq 3m/s$ )	Bajas ( $\leq 3m/s$ )						
	0,1	0,3	0,2	0,2	0,05	0,05	0,1	1
Aerogenerador de eje horizontal o HAWT	Aero turbina lenta	2 / 8	5 / 3	6 / 6	8 / 7	7 / 7	0,2 / 0,4	5,6
	Monopala	2 / 2	4 / 2	6 / 6	5 / 5	5 / 5	0,3 / 0,25	3,05
	Bipala	4 / 2	6 / 6	5 / 5	5 / 4	4 / 4	0,4 / 0,25	4,3
	Tripala	7 / 3	7 / 7	4 / 4	4 / 3	3 / 3	0,2 / 0,2	5,1
Aerogenerador de eje vertical o VAWT	Aerogenerador GGINC	7 / 9	7 / 7	6 / 6	5 / 5	5 / 5	0,3 / 0,25	7,25
	Savonius	6 / 7	5 / 5	6 / 6	6 / 6	6 / 6	0,3 / 0,3	5,9
	Windside	7 / 5	6 / 6	5 / 5	5 / 5	5 / 5	0,25 / 0,25	5,6
	Giromill	5 / 6	5 / 5	4 / 4	5 / 4	4 / 4	0,25 / 0,25	5,15
	Darrieus	3 / 7	4 / 4	6 / 6	4 / 4	4 / 4	0,3 / 0,2	4,9



En la plataforma Airfoil Tools se puede consultar la base de datos correspondiente al perfil aerodinámico seleccionado, como también se puede evaluar el coeficiente de elevación y de arrastre para distintos números de Reynolds. El perfil NACA 0018 se analiza en la plataforma Profili donde se analiza con 2 números de Reynolds de 40000 y 50000 y la variación del ángulo de ataque del mismo así.

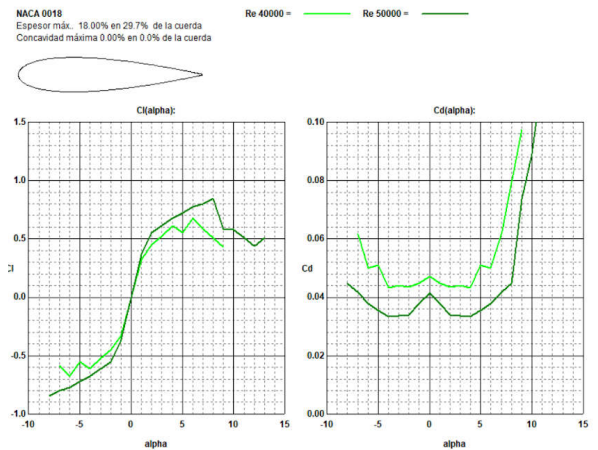
### J. selección del perfil aerodinámico

Un perfil aerodinámico es un objeto que al desplazarse en un fluido principalmente aire genera cierta distribución de presiones que provocan sustentación o fuerzas aerodinámicas. Los perfiles aerodinámicos se usan en las alas de los aviones, aspas de helicópteros, ventiladores, turbinas eólicas, entre otros.

Para conocer más de los perfiles aerodinámicos se debe de conocer las principales variables, con las que se determinan y clasifican las distintas familias de perfiles aerodinámicos. Cada una de estas familias define una determinada geometría y su aplicación. En la siguiente ilustración se presenta un esquema de perfil aerodinámico que genera sustentación o lift.

Los perfiles NACA pueden variar los porcentajes del espesor máximo, longitud de la cuerda a partir del borde de ataque y la línea de curvatura media conocida como la línea de la cuerda. El ángulo relativo del viento fluctúa alrededor del punto cero positivo y negativo en cada revolución del rotor, lo que implica que los albes deberían tener una forma simétrica como superficie de sustentación, con el fin de aprovechar las mismas propiedades aerodinámicas cuando el ángulo de ataque cambia de positivo a negativo.

Un aspecto importante es que los albares de la turbina van a operar en su velocidad nominal, a números de Reynolds altos, por lo tanto, se requiere buscar una geometría de perfil que presente un mejor coeficiente de elevación que de arrastre ( $C_l/C_d$ ).



## VI. DISEÑO DE DETALLE

### A. diseño del álabe naca 0018

Mediante el sitio web Airfoil Tools el cual brinda gran variedad de perfiles aerodinámicos se procede a buscar y seleccionar este perfil NACA, los cuales se deben extraer en un archivo de texto anexo 11, posteriormente a esto se lo ingresa a un documento de Excel en donde se agrega la componente del eje (k) y su longitud de cuerda anexo 12. Siguiendo con el diseño se procede a importar los datos a un nuevo documento de Solidworks obteniendo la silueta del perfil aerodinámico.

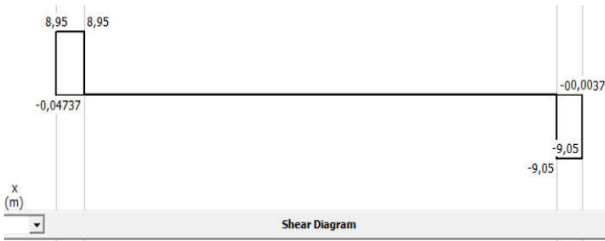
### B. diseño de eje

Tomando en cuenta los esfuerzos que generan los albes al momento de atrapar la energía cinética del viento, los esfuerzos se transmiten al eje por medio de la base del rotor encargada de transferir la fuerza de cada uno de los álbes. Mediante el programa MDSolids se grafican las fuerzas aplicadas al eje.



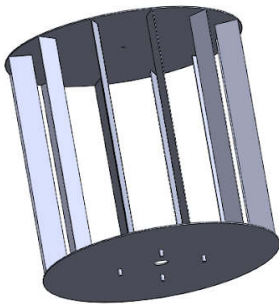
En el eje se encuentran fuerzas puntuales P1 y P2 de 9N, con una distancia de 0.1m y 1.8m respectivamente. Se realiza sumatoria de fuerzas para poder determinar las reacciones en el eje. siguiendo con el proceso se realiza sumatoria de momentos en A con el fin de poder obtener las reacciones generadas al momento de aplicar las cargas al eje, obteniendo una reacción en B de 8.56N, en seguida se realiza sumatoria de fuerzas para encontrar la reacción en A teniendo como resultado 9,44 N.

mediante el método de secciones se determina matemáticamente el esfuerzo cortante y momento flector del eje así,



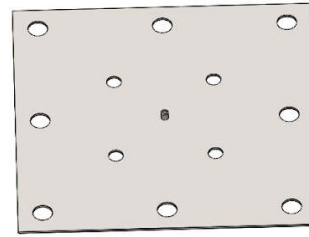
C. *diseño de la jaula de palas*

en el proceso de mejoramiento del diseño de la turbina se agrega una jaula exterior encargada de brindar una mejor dirección al flujo del aire antes de que este incide en los álabes del rotor,



D. *plataforma de soporte.*

Con el fin de proporcionar un soporte estable a la estructura se utiliza una lámina de acero AISI - SAE 1020 la cual presenta un límite estático de  $3.51 \times 10^8$  N/m<sup>2</sup> Este material se encuentra en un rango de medidas comerciales desde 1,5 mm hasta 200 mm de espesor, donde se utiliza para este caso un espesor de 10 mm dando como resultado la siguiente estructura de soporte.



VII. MARCO LEGAL

A. *norma técnica colombiana ntc 5363*

Esta norma específica los requerimientos esenciales de diseño para asegurar la integridad de la ingeniería de los aerogeneradores. su propósito es promover un nivel de protección adecuado contra daños por cualquier riesgo durante su vida útil.

B. *norma técnica colombiana ntc 5467*

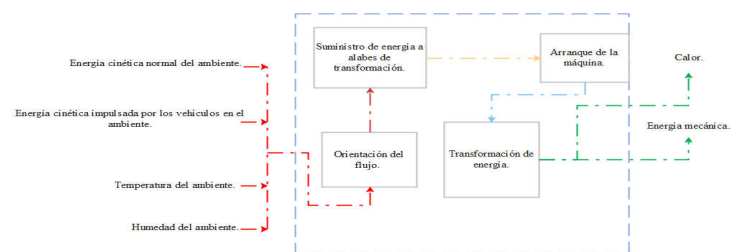
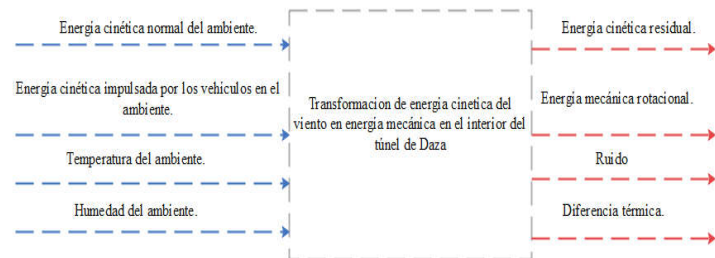
Aerogeneradores. técnicas de medida de ruido acústico.

C. *norma gtc 172:2008*

Energía Eólica. Guía Para Generación De Energía Eléctrica. En la cual suministra información de referencia para aquellas personas interesadas en utilizar la energía eólica para producir electricidad.

VIII. ANÁLISIS FUNCIONAL

El proceso de transformación de la energía inicia cuando en el túnel ingresan vehículos los cuales producto de su normal recorrido dejan residuos como gases calientes, residuos de la combustión y también energía cinética aportada al viento, posteriormente se trata de aprovechar la mayor cantidad de energía del viento y su transformación en energía mecánica para su posterior uso.



## IX. DISEÑO DE ASPECTOS METODOLÓGICOS

### A. línea de investigación

El mejoramiento de la calidad del aire y la lucha contra el cambio climático impulsa a la investigación e innovación de nuevas formas de aprovechar las energías limpias que el planeta nos puede brindar tanto de forma natural como derivada de un proceso mecánico, industrial entre otros.

### B. línea de investigación del programa de ingeniería mecánica.

La línea de diseño de máquinas o equipos industriales e innovación de tecnologías en desarrollo enfocadas hacia el territorio en donde se emplean conocimientos, destreza y habilidades adquiridas en el transcurso del proceso de formación universitaria, permitiéndole al estudiante innovar y revolucionar procesos ya existentes como crear nuevas tecnologías.

### C. enfoque

El enfoque de la investigación es mixto debido a que se combinan datos tanto cualitativos como cuantitativos dando como resultado una investigación lo más precisa para dar solución al problema. Esta investigación es cuantitativa ya que, por medio de cálculos, selección de materiales, selección de álabes, diseño de ejes, entre otros, proporcionando información numérica de vital importancia para crear un diseño acorde a lo buscado. Por otra parte, la investigación es cualitativa ya que por medio de este enfoque se obtiene información como entrevistas, encuestas, recolección de datos en el campo, con el fin de acercarse a una investigación más a detalle para resolver el problema.

### D. tipo de investigación

Esta investigación es descriptiva ya que reúne datos del entorno de investigación con el fin de analizar, qué porcentaje de su energía se puede aprovechar. Por el contrario, la investigación no pretende cambiar los fenómenos producidos al momento de que un vehículo recorra una infraestructura como el túnel de Daza.

### E. método

Método deductivo partiendo de la información dispersa en la que se encuentra la investigación del túnel de Daza y poder especificar el proceso de producción de energía que finalmente concluye con un porcentaje de producción debido al uso normal del túnel por los vehículos y la buena ingeniería al buscar una forma de aprovechar esa energía dispersa.

## X. CONCLUSIONES

- Gracias a la colaboración y el conocimiento del personal de trabajo del túnel, se lograron obtener datos reales en áreas específicas de la infraestructura, con los protocolos de seguridad necesarios.

- A través del programa perfil 2.0 se seleccionó el perfil aerodinámico ideal con el fin de aprovechar la mayor cantidad de energía cinética del ambiente. Cabe resaltar que las dimensiones de la máquina están restringidas por el personal que supervisa el buen funcionamiento del túnel.
- El uso de herramientas de simulación por elementos finitos solidworks, permite analizar el comportamiento del eje de la máquina para asegurar que este no va a fallar debido a las condiciones de carga a las que se somete cuando la máquina está operando. No obstante, en la simulación no se consideraron los efectos que el entorno puede generar sobre este, como la temperatura, humedad, partículas de hollín entre otras.
- Teniendo en cuenta que dentro del túnel existe energía cinética aprovechable, donde un aerogenerador en condiciones ideales puede producir 200 W de energía eléctrica. es recomendable instalar varios dispositivos cada 50 m con una producción final de 13.2 kwh representando el 29% del consumo general del túnel

## XI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda analizar los efectos negativos que cause el ambiente a los componentes de la máquina.
- Se recomienda analizar la viabilidad en la instalación de este tipo de generadores, teniendo en cuenta el consumo general de la infraestructura.

## XII. BIBLIOGRAFÍA

- BioKima, D. (12 de 2019). *BioKima*. Obtenido de energías renovables: <https://biokima.com/la-importancia-de-las-energias-renovables/>
- Burgos, C. (s.f.). *ARGOS 360° en concreto*. Obtenido de Túneles viales en Colombia: Ingeniería del túnel de Daza Nariño: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/tunel-es-viales-en-colombia-ingenieria-del-tunel-de-daza-narino>
- Çağatay, G. (12 de 06 de 2019). ANADOLU AGENCY. Obtenido de Consumo de energía mundial aumentó un 2,9 por ciento en 2018: [https://www.aa.com.tr/es/mundo/consumo-de-energia-mundial-aumentó-un-2-9-por-ciento-en-2018/1502721#:~:text=El%20consumo%20de%20energía%20mundial.británica%20British%20Petroleum%20\(BP\).](https://www.aa.com.tr/es/mundo/consumo-de-energia-mundial-aumentó-un-2-9-por-ciento-en-2018/1502721#:~:text=El%20consumo%20de%20energía%20mundial.británica%20British%20Petroleum%20(BP).)
- Danish Wind Industry Association. (23 de 05 de 2021). Programa trazador de la distribución de Weibull. Obtenido de

<http://drømstørre.dk/wp-content/wind/miller/windpower%20web/es/tour/wres/weibull/index.htm>

- López, M. B. (04 de 2015). ResearchGate. Obtenido de coeficiente de potencia en función de la velocidad específica y el ángulo de paso de las palas:  
[https://www.researchgate.net/publication/321807468\\_Sistema\\_de\\_Control\\_para\\_Aerogeneradores\\_Empleando\\_Logica\\_Difusa](https://www.researchgate.net/publication/321807468_Sistema_de_Control_para_Aerogeneradores_Empleando_Logica_Difusa)
- Minambiente. (13 de 05 de 2014). Gobierno Nacional sanciona Ley que incentiva el uso de energías renovables. Obtenido de  
<https://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article?id=669:el-uso-sostenible-de-los-bosques-prioridad-de-minambiente-78#:~:text=Gobierno%20Nacional%20sanciona%20Ley%20que%20incentiva%20el%20uso%20de%20energías%20renovables.-Parque%20Eólico%2>
- Semana. (10 de 02 de 2017). Energía para el bienestar pastuso. Obtenido de  
<https://www.semana.com/contenidos-editoriales/pasto-tambien-somos-sur/articulo/asi-funciona-la-energia-en-pasto/542456>
- SIMULWIND. (24 de 09 de 2019). Energía eólica en Turquía. Obtenido de aerogeneradores Nordex para un parque eólico de 110 MW:  
<https://www.evwind.com/2019/09/24/energia-eolica-en-turquia-aerogeneradores-nordex-para-un-parque-eolico-de-110-mw/>
- Viñas, J. M. (07 de 02 de 2021). METEORED. Obtenido de ¿Cómo se mide el viento?:  
<https://www.tiempo.com/noticias/ciencia/como-se-mide-el-viento-instrumentos-anemometro.html>