

# “Turbina quiral para ser utilizada en generadores eólicos o generadores de pequeña y media capacidad”

MX/a/2022/002278

## Descripción de la Tecnología

Las turbinas pertenecen al grupo de las turbomáquinas motrices: la energía se extrae del fluido en movimiento y se emite al exterior en forma de trabajo mecánico en rotación (Gunt Hamburg, s.f.). Esa energía, que originalmente es de carga o presión, se convierte en energía mecánica al pasar por un sistema de aspas y finalmente, un generador la transforma en energía eléctrica (Ambientum, s.f.). En función del tipo de flujo, la presente invención puede utilizarse en aerogeneradores y turbinas hidráulicas.

La turbina quiral a la que se refiere el proyecto, presenta un nuevo diseño de las aspas. El cuerpo estructural primario corresponde a una pirámide triangular configurado para contener un cuerpo estructural secundario, que a su vez se conforma por una pluralidad de semiejes los cuales convergen en el centroide del cuerpo primario; además de una serie de holanes o aspas quirales. Las aspas se caracterizan al menos por una torsión realizada con la misma orientación en cada una de ellas.

El sistema de aspas quirales rodea los semiejes del cuerpo estructural el cual se puede acoplar a cualquier tipo de rotor tanto de aerogeneradores como de turbinas hidráulicas de pequeña y mediana capacidad. La turbina quiral puede presentar diferentes configuraciones, conservando la quiralidad de los holanes (aspas) lo que promueve un movimiento de giro en la misma dirección alrededor de un eje de rotación. Tales configuraciones son:



## Aplicaciones, beneficios y usos de la tecnología

Las energías renovables son un tipo de energías derivadas de fuentes naturales que llegan a reponerse más rápido de lo que pueden consumirse. Ejemplo de estas fuentes son la luz solar y el viento; las cuales se renuevan continuamente.

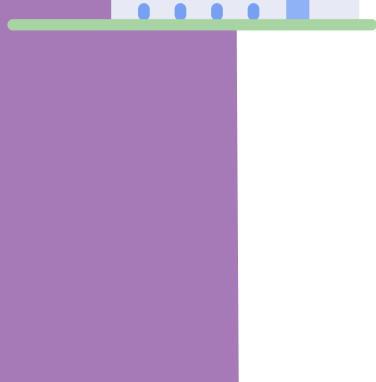
Las fuentes de energía renovable abundan y es posible encontrarlas en cualquier entorno.

La turbina quiral planteada puede ser ensamblada a generadores eólicos de cualquier capacidad o generadores hidráulicos de pequeña y media capacidad, de eje vertical, lo que permite instalarla en cualquier sitio con disposición de viento, por ejemplo, en edificios, laderas, carreteras, etc.; o bien, para aprovechar pequeñas corrientes de agua.

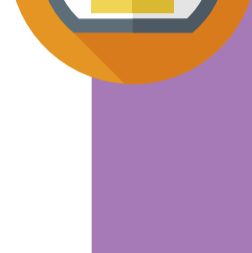
Dada su quiralidad, la turbina ocupa la energía de los fluidos incidente en cualquiera de sus holanes para producir tensión y momento por lo que el giro de su eje se realiza en el mismo sentido independientemente de la dirección del fluido.

El giro constante del eje permite aprovechar las tres componentes de la velocidad sin requerir ajustes en la dirección o mecanismos de orientación adicionales.

En el caso de las turbinas eólicas, hasta el momento ninguna de las configuraciones de los aerogeneradores de eje horizontal (HAWT) o vertical (VAWT) presentes en el mercado, resuelve el cambio de dirección del viento sin la necesidad de reorientar el eje de giro mediante sistemas de redireccionamiento, lo que reduce los costos asociados a dicho ajuste. Además, para fabricar la turbina quiral, es posible ocupar cualquier material de baja densidad ampliando con ello su accesibilidad.



## Nivel de madurez de la tecnología



Con el fin de realizar las pruebas de principio de algunos aspectos tecnológicos de la turbina quiral, se construyó un prototipo de la configuración compleja con acoplamiento en vértices y centroide (300), con una distancia de semieje de 12 [cm], un grosor máximo en la punta del asa quiral de 3 [mm] y un grosor mínimo de 1.5 [mm] en el centro; mediante impresión 3D con material plástico ABS (acrilonitrilo butadieno estireno).

Las pruebas se realizaron en laboratorio bajo condiciones similares de vientos turbulentos, provistos por ventiladores, con una rapidez entre 4 y 6 [m/s] en dirección perpendicular, paralela y oblicua respecto al eje de giro de la turbina (Ver Figura 1).

Se encontró que con vientos incidentes en ángulos de 80° y 285°, las revoluciones por minuto [RPM] de la turbina quiral fueron del mismo orden, entre 250 y 350 [RPM], que las de la turbina Savonius con vientos perpendiculares. Lo anterior prevé la capacidad parcial de la turbina Quiral para extraer energía del viento desde sus tres componentes de rapidez.

Posteriormente, con el objetivo de caracterizar la geometría de la turbina, se realizó la simulación mediante la Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) para medir las diferencias de presión y rapidez del viento en las aspas, así como la fuerza y torca que inciden en el centroide de la turbina en estado estático; y compararla a su vez, con las cifras características de las turbinas tipo Savonius y H-Darrieus de dimensiones similares.

El diseño de la turbina se realizó en el programa CAD BLENDER, mallado en SnappyHexMesh, solución en OpenFOAM y análisis con ParaView y Jupyter-Notebook. La simulación se encuentra documentada en la tesis Una Turbina Quiral presentada por Marco Antonio Ponce Patrón (Ponce, 2022).



En la simulación se consideró un flujo turbulento con rapidez de 5 [m/s] en dirección perpendicular al eje de giro de las turbinas. Durante el arranque, la turbina Savonius presentó una torca al menos 3 veces mayor en dirección z a diferencia de la Quiral que tuvo una torca negativa de gran magnitud en el eje x; mientras que tanto la turbina H-Darrieus como la Quiral, demostraron gradientes de presión relativa de hasta 60 [Pa] en sus aspas siendo la fuerza de arrastre la que predominó en ambas.

A continuación, se muestran los resultados de la torca en el centroide de las turbinas. En el caso de la turbina quiral, se realizaron variaciones del ángulo de posición de ±30°.

Tabla 1. Magnitudes en las que la torca se estabiliza

| Modelo        | Torca [N·m] | Comp. x | Comp. y | Comp. z |
|---------------|-------------|---------|---------|---------|
| Savonius      |             | -1,500  | 200     | 800     |
| H-Darrieus    |             | -25     | 0       | 100     |
| Quiral        |             | -225    | 50      | 170     |
| Quiral (<30°) |             | -100    | 0       | 350     |
| Quiral (<30°) |             | -60     | 20      | -140    |

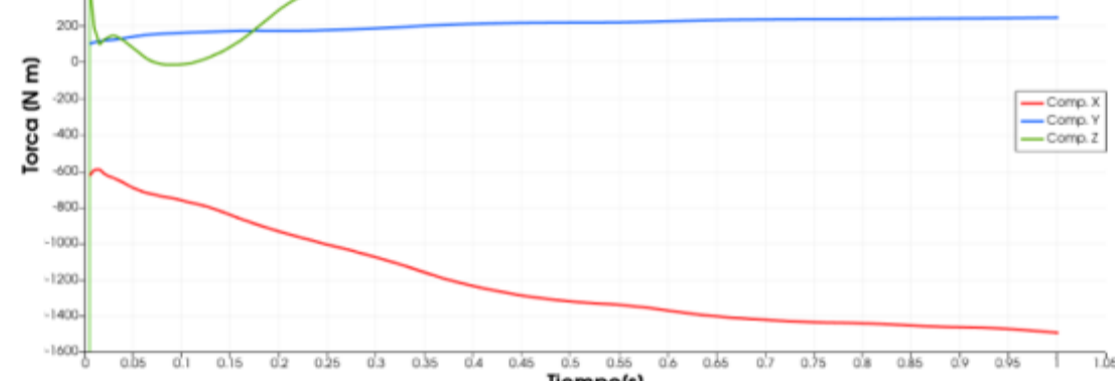


Figura 2. Componentes de la torca en el centroide de la turbina Savonius Fuente: (Ponce, 2022)

En la figura 2 se observa que entre el segundo 0 y el 0.1 la torca de la turbina Savonius tiene un proceso transitorio, para después reportar una magnitud que se estabiliza alrededor de los 800 [N·m].

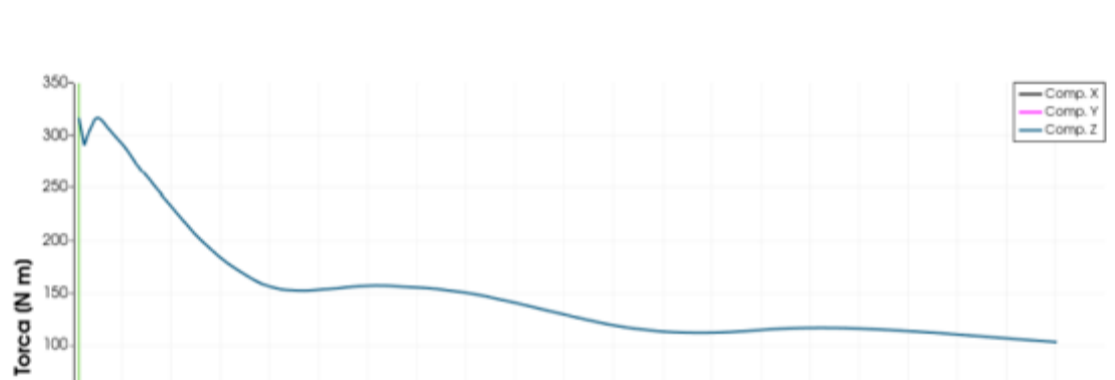


Figura 3. Componentes del vector torca en el centroide de la turbina H-Darrieus Fuente: (Ponce, 2022)

En el caso de la turbina H-Darrieus (Figura 3), la componente de la torca predominante es en la dirección del eje z con un máximo de 344 [N·m], su sentido positivo indica un giro contrario a las manecillas del reloj. La componente de la torca en el eje y es nula, mientras que la componente en x existe alrededor de un valor de -50 [N·m], lo que indica que la turbina tiende a girar sobre este eje representando posibles vibraciones al considerar que la única libertad de giro existe en el eje z.

En cuanto a la turbina Quiral (Figura 4), la componente más importante es la z con valores de hasta 270 [N·m] y estabilizándose alrededor de 170 [N·m], por lo que la tendencia de giro, esta en contra de las manecillas de reloj. Con respecto a la componente en x, esta supera a la componente en z, lo que significa una pérdida considerable de la energía del viento en turbulencias y vibraciones, y una posible utilidad como turbina de eje horizontal.

Con el fin de entender mejor la aerodinámica de la turbina Quiral, se realizaron simulaciones con una variación del ángulo en que se posiciona la turbina de ±30°. A un ángulo de -30°, la componente en z es negativa en toda la simulación con un rango estable después del tiempo t=0.5 [s] entre -135 [N·m] y -145 [N·m]. Esto evidencia un giro a favor de las manecillas de reloj. Con respecto al ángulo de 30°, la componente en z es positiva con variaciones entre 250 [N·m] y 330 [N·m].

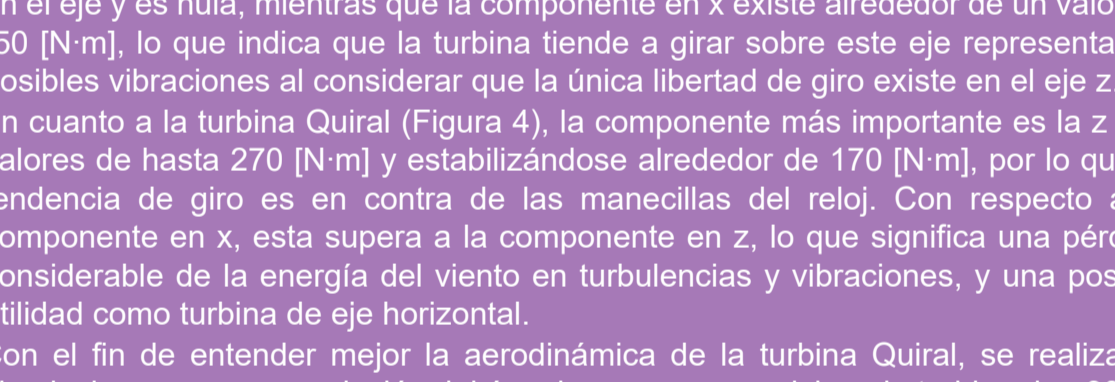


Figura 4. Componentes de la torca en el centro de Turbina Quiral, Fuente: (Ponce, 2022)

Se concluye que la turbina quiral tiene un arranque dominado por las fuerzas de arrastre y un sistema de giro preferencial en contra de las manecillas del reloj. Sin embargo, puede girar en sentido de las manecillas del reloj si se coloca con un ángulo de -30° por lo que se considera que tiene un sistema de giro complejo.

Con base en la escala de la NASA para determinar el nivel de madurez de la tecnología, la invención tiene un Technology Readiness Level (TRL) de 2, el cual se refiere al concepto y/o aplicación tecnológica formulada.

Considerando los resultados de la simulación documentados en la tesis (Ponce, 2022), la turbina presenta diferencias significativas en cuanto a la fuerza de torca obtenida en la componente z, en comparación con las otras turbinas, especialmente respecto a la turbina Savonius, además de que la componente en x tiende a ser muy negativa, superando a la fuerza en el eje z, lo que indica pérdidas significativas de energía. Adicionalmente, los análisis de presión y rapidez del viento alrededor de los diferentes planos de la turbina quiral indican diferentes direcciones de giro, por lo que se sugiere modificar la geometría para favorecer el giro en el mismo sentido (Ponce, 2022).

## Información de mercado

De acuerdo con la agencia de investigación de mercados Precedence Research, el mercado global de la energía eólica se valoró en USD \$77,770 millones en 2021 y se prevé que tenga un valor de alrededor de USD \$174,757 millones en 2030 y una Tasa Media de Crecimiento Anual (TMCA) estimada del 9.4% durante el período de 2021 a 2030 (Precedence Research, 2022).

El tamaño del mercado mundial de turbinas eólicas se estimó en USD \$58,910 millones en 2021 y se espera que alcance un valor de USD \$102,400 millones en 2030, creciendo a una TMCA del 6.34% en el período de 2022 a 2030 (Precedence Research, 2022).

Por su parte, se espera que el mercado mundial de turbinas hidráulicas crezca a una TMCA de más del 2.5% durante el período de 2020 a 2025 (Mordor Intelligence, 2022).

Con base en las proporciones del tamaño de mercado por segmento calculadas por Allied Market Research en el reporte Wind Turbine Market 2022 (Yash, 2022), las palas o aspas de rotor han dominado el segmento de la venta de componentes de aerogeneradores con un valor de USD \$17,579 millones en 2020 y se estima que aumentará a USD \$33,863 millones en el 2030 a una TMCA aproximada del 9.3%, debido a la rápida industrialización, a la generación de nueva tecnología y al aumento de la demanda de energía.

Es probable que factores como la mayor demanda de energía a escala mundial, el aumento de la necesidad de tecnologías más limpias para la producción de energía, los estrictos objetivos de la política de emisiones y el aumento de los precios de la electricidad, impulsen el mercado de las turbinas hidroeléctricas y aerogeneradores.

La energía hidroeléctrica es la fuente de generación de electricidad renovable más grande del mundo, representando el 15.9% de la electricidad mundial en 2018. Sin embargo, desafíos relacionados con el diseño de la turbina, las preocupaciones ecológicas por los efectos de las represas en el ecosistema, los largos períodos de desarrollo y el alto costo de instalación, han obstaculizado el crecimiento del mercado (Mordor Intelligence, 2022).

Por otro lado, según la IRENA (Agencia Internacional de Energías Renovables), la capacidad mundial de energía eólica instalada creció de 180,846 [MW] en 2010 a 622,408 [MW] en 2019. La producción de electricidad eólica representó el 6% del total de la electricidad generada por fuentes de energía renovables en 2016.

Se prevé que la energía eólica mundial se multiplique por diez, alcanzando más de 6,000 [GW] en 2050. En este escenario, la elevada inversión inicial requerida, el ruido causado por los aerogeneradores y la lejanía de los parques eólicos son algunos de los factores que continúan frenando el crecimiento del sector. Se espera que la región de Asia-Pacífico sea el mercado más grande y de mayor crecimiento, ya que cuenta con los niveles más altos de generación de energía renovable y la presencia de numerosos centros de desarrollo tecnológico (Research & Markets, 2022).

De acuerdo con la participación en el mercado reportada por la compañía ENERCON, la nueva capacidad instalada terrestre (onshore) a nivel global en el año 2020 fue generada principalmente por General Electric Company (GE) con el 15%, Vestas Wind Systems A/S y Goldwind, ambas con el 14%, Envision con el 11%, Siemens Gamesa Renewable Energy S.A. con el 6% y Ming Yang con el 5% (ENERCON, 2021).

Actualmente, México no cuenta con plantas integradas de fabricación de componentes y ensamblaje de aerogeneradores. Las empresas fabricantes líderes a nivel global ubicadas en el país, no han instalado plantas de manufactura debido a que el tamaño del mercado nacional y los costos asociados no justifican la inversión (AMDEE, 2019).

Sin embargo, existen proveedores con capacidad local de determinados equipos y partes. Entre las compañías con presencia en México se encuentran la fábrica de aspas de Mitsubishi; torres metálicas de Trinity y CS Wind; torres de Tubac en Monterrey y el Centro de Ingeniería Avanzada de General Electric en Querétaro dedicado al diseño de turbo maquinaria y sistemas de generación de energía (SEGOB; Comisión para el Diálogo con los Pueblos Indígenas de México, 2010).

En México existen 70 parques eólicos en operación distribuidos en quince entidades. Oaxaca es el principal generador; en el año 2021 registró 2,749 [MW] equivalentes al 10% de la producción total de energía eólica del país. En menor medida, los estados de Tamaulipas, Nuevo León, Yucatán, Baja California, San Luis Potosí, Puebla, Coahuila, Zacatecas, Jalisco, Guanajuato, Sonora, Baja California Sur, Chiapas y Quintana Roo también cuentan con centrales eólicas (AMDEE, 2022).

Actualmente la Comisión Federal de Electricidad (CFE) cuenta con 15 centrales hidroeléctricas de gran escala, ubicadas en los ríos Grijalva (Chiapas), Balsas (Guerrero-Michoacán), Santiago (Jalisco-Nayarit), Huixtla (Sinaloa), Mazatepec (Puebla), Papaloapan (Oaxaca-Veracruz) y Zimapan (Hidalgo-Guerrero), además de 10 de mediana escala y 35 mini hidroeléctricas, las cuales aportan una capacidad efectiva total de 12,125.363 [MW] (alrededor del 12 por ciento de la generación total en México) (CFE, 2022).

Aunado a lo anterior, México cuenta con la mayor parte de las materias primas y capacidades técnicas y humanas necesarias para producir los distintos componentes de las turbinas, lo que implica que un impulso a la instalación de nueva capacidad generaría un fortalecimiento de la cadena de valor no solo del sector eólico, sino también de otros sectores relacionados como el automotriz y el aeroespacial (AMDEE, PWC, 2019).