

Estudio Integral sobre la Evaluación del Recurso Eólico en Entornos Urbanos. Estación Anemométrica Adaptable.

**Ferrer Garcés, R. *¹; de las Heras Fernández, M.¹; Beltrán Bengoechea, L. F.¹;
de las Heras Ramos, A. M.¹; Araujo da Costa, A.²; Arias Vega, F.²; Cepero
Díaz, J. R.²**

**¹ Grupo de Investigación para el Estudio de la Problemática del Patrimonio
Edificado Universidad Politécnica de Madrid GIEPPE UPM / ² Centro de
Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas CIEMAT**

Resumen

Introducción:

- Como consecuencia de un intenso proceso de trabajo, coordinado con Investigadores del CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas), se pretende comunicar el estado del trabajo de Investigación relacionado con la Evaluación del Potencial Eólico en entornos urbanos, con vistas a la posible generación de energía eléctrica limpia.

Objetivos:

- Se trabaja en el ámbito de la cuantificación del potencial eólico, pensando en la futura impulsión hacia la autonomía energética en edificios, tanto como complemento a otras fuentes de energía, como en la independización de los edificios de las fuentes externas.
- En este momento, la principal línea de trabajo del Grupo de Investigación en este Área consiste en la investigación y desarrollo de un sistema autónomo para la medida del campo de viento en tejados y azoteas de edificios pertenecientes al entorno urbano. Dicho sistema consiste en un conjunto de sensores que sirven para medir diferentes variables meteorológicas, asociadas al comportamiento del viento, como por ejemplo: Velocidad del viento, Dirección del viento, presión atmosférica, temperatura, humedad, etc.
- Además se pretende medir el ruido acústico ambiente, para en un futuro evaluar el incremento de ruido producido por posibles máquinas eólicas situadas en los tejados y azoteas de los edificios.

Metodología:

- Se trabaja en el diseño de un conjunto de estos sensores, dataloggers y su estructura soporte que tengan la posibilidad de adaptarse a cualquier tipo de tejado o azotea de cualquier edificio y constituye la llamada: Estación Anemométrica Adaptable (EAA) a edificaciones de diversas morfologías.

Conclusiones:

- Tendremos una maquina que permita evaluar la correlación entre situación geográfica y topográfico y potencialidad para la generación eólica de energía eléctrica en nivel mini urbano.
- Se alcanzará a tener el nivel de conocimientos suficientes para llegar a explotar industrialmente esta iniciativa.

Ponencia

Introducción:

- Podemos afirmar sin equivocarnos, que el uso de la Energía Eólica por parte de los humanos como fuente de energía útil que la naturaleza nos regala para nuestro provecho, se pierde en la “noche de los tiempos”, pues no tenemos más que observar que la navegación a vela existe desde tiempo inmemorial.
- Como maquina industrial con capacidad de producir trabajo útil a los humanos, es una actividad humana ad immemorabili, de la que no se conoce su primer origen.
- Los molinos mediterráneos y cretenses introducidos por los árabes en el primer milenio mucho antes de que en Europa se empezaran a construir los primeros molinos de eje horizontal.
- En el siglo XIX, en estados Unidos, Daniel Halladay, en 1854 inventó el aeromotor de bombeo multipala, maquina de giro lento en su rotor, pero de gran par y muy apta para mover la bomba de pistón de bombeo de agua de los pozos.
- En 1888 en Estados Unidos también, se produjo un hecho histórico trascendental, cuando Charles F. Brush diseñó la aeroturbina que tenía un rotor de 17 metros de diámetro con 144 palas de madera de cedro, conectado con un generador eléctrico de 12 Kw de potencia, que producía electricidad continua para cargar 12 baterías, tres motores, dos lámparas de arco de carbón y 350 lámparas de filamento, y que fue de derecho y hecho, el primer aerogenerador eléctrico. Trabajó a pleno rendimiento durante más de una década.
- Como consecuencia de un intenso proceso de trabajo, coordinado con Investigadores del CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas), se pretende comunicar el estado del trabajo de Investigación relacionado con la Evaluación del Potencial Eólico en entornos urbanos, con vistas a la posible generación de energía eléctrica limpia.

Objetivos:

- La Energía Eólica es la parte de la energía solar recibida en la Tierra que realmente se transforma en viento. Debido a esta procedencia solar podemos calificarla como energía natural, renovable y segura.
- En nuestro Proyecto de Investigación, parte del cual presentamos en esta Comunicación estamos trabajando en esta Primera Etapa, en el ámbito de la cuantificación del potencial eólico, pensando en la futura impulsión hacia la autonomía energética en edificios, tanto como complemento a otras fuentes de energía, como en la independización de los edificios de las fuentes externas.
- En este momento, la principal línea de trabajo del Grupo de Investigación en este Área consiste en la investigación y desarrollo de un sistema autónomo para la medida del campo de viento en tejados y azoteas de edificios pertenecientes al entorno urbano.

- Dicho sistema consiste en un conjunto de sensores que sirven para medir diferentes variables meteorológicas, asociadas al comportamiento del viento, como por ejemplo: velocidad del viento, dirección del viento, presión atmosférica, temperatura, humedad, etc.
- Además se pretende medir el ruido acústico ambiente, para en un futuro evaluar el incremento de ruido producido por posibles máquinas eólicas situadas en los tejados y azoteas de los edificios.
- Para todo esto estamos trabajando en las últimas etapas del Diseño de un Evaluador de Energía Eólica, fiable, ligero, transportable y adaptable.

Metodología:

- Dando un nuevo salto en el tiempo y ya en el siglo XIX, ingenieros y físicos notables de gran talla como Claude Louis Marie Henri Navier (Dijon 1785 - Paris 1836) y Sir George Gabriel Stokes (Skreen / Irlanda 1819 - Cambridge / Inglaterra 1903) basándose en los estudios anteriores de Euler, formularon sus famosas ecuaciones que hoy día se las conoce en el mundo de la Mecánica de Fluidos como Ecuaciones de Navier-Stokes; a las cuales se llega partiendo de las Ecuaciones de Cantidad de Movimiento de Euler e introduciendo dentro de las mismas los términos viscosos, los cuales perfeccionaron y complementaron a dichas ecuaciones de Euler a la vez que las hicieron mucho más complejas y que en definitiva, son la base fundamental operativa hoy día de la Mecánica de Fluidos, conjuntamente con la ecuación de Continuidad y la ecuación de la Energía, todas ellas ayudadas y soportadas por la Termodinámica. Podemos destacar también a Gotthilf Heinrich Ludwig Hagen (Konigsberg / Prusia 1797 - Berlín 1884), quien estudiando el flujo de fluidos en conductos cerrados descubrió la zona de cambio entre el flujo laminar y el flujo turbulento e independientemente de Jean Louis Marie Poiseuille (1799 - 1869), estableció la ley de flujos en el interior de conductos a baja o moderada velocidad que lleva su nombre y que posteriormente se llamaría la ley de Hagen-Poiseuille.
- Desde entonces hasta nuestros días, muchas mentes dotadas de un gran talento han seguido aportando célebres e importantes contribuciones a la ciencia de la Mecánica de Fluidos y en particular a la Aerodinámica. Aunque de una forma breve, por consideración y respeto, conviene ahora citar y recordar el nombre de ciertos científicos, como a título de ejemplo son: Rankine, Froude, Reynolds, Joukowsky, Prandtl, Von Karman, Glauert, Goldstein, Theodorsen. Aunque todos ellos y muchos más no nombrados aquí, son totalmente laudables y dignos de ser reconocidos por sus méritos y aportaciones científicas, a nuestro juicio merece también una mención especial el alemán Ludwig Prandtl (Freising / Alemania 1875 - Gotinga / Alemania 1953), quien además aportar muchas brillantes contribuciones a la aerodinámica de aeronaves como por ejemplo constituye su famosa Hipótesis para Alas Largas o bien el problema de la compresibilidad en velocidades subsónicas altas conocido como corrección de Prandtl - Glauert, desarrollo también una de las contribuciones científicas más

célebres de la Mecánica de Fluidos de la edad Moderna, ya que Prandtl planteó y estudió las Ecuaciones de la Capa Límite de una corriente que fluye alrededor de un cuerpo y en particular alrededor de un perfil aerodinámico y una de las consecuencias más interesantes de este estudio se deriva cuando el número de Reynolds es muy elevado en estos movimientos, en cuyo caso la Capa Límite alrededor del perfil aerodinámico y en ciertas situaciones, puede llegar a ser muy delgada frente al tamaño característico del propio cuerpo, lo cual es muy interesante, ya que en este caso, es posible resolver el campo de presiones alrededor del mismo, estudiando y resolviendo la Corriente Exterior Potencial (para capas límites no desprendidas), pues en estos casos de movimientos a números de Reynolds muy altos y capas límites muy delgadas, las variaciones transversales de presión en la Capa Límite son despreciables frente a las variaciones longitudinales y además se justifica la utilización de la Teoría Potencial tal y como la conocemos de la Aerodinámica Clásica, para resolver estos problemas en la Corriente Exterior a dicha Capa Límite.

- **Además y al lado de estos grandes científicos y talentos ya comentados, también es muy obligado reconocer en el ámbito de la Aerodinámica y seríamos muy injustos si no lo mencionáramos, el esfuerzo y el mérito en particular de ciertas personas no académicas como por ejemplo los hermanos Wright, que eran fabricantes de bicicletas y cuyos conocimientos matemáticos y científicos no eran excesivamente elevados, pero que estaban plenamente dotados de un gran espíritu lógico, de unas dotes de reflexión, de una intuición y de una gran experiencia en el diseño mecánico, a la vez que ejercitaban una capacidad de trabajo realmente excepcional (que para nosotros quisiéramos tener muchos titulados, entre otros los autores de esta Ponencia) tales que permitieron diseñar y hacer volar por primera vez en diciembre de 1903 un objeto autopropulsado más pesado que el aire, pilotado por un hombre con control y mando completo sobre el vuelo, ya que tanto en la bicicleta como en el aeroplano en particular, es posible cambiar la trayectoria del centro de gravedad de estas máquinas, mediante el movimiento de balanceo de las mismas (inclinación lateral).**
- **Por otra parte, también hay que decirlo, el desarrollo tan impresionante en particular de la Aerodinámica (que como ya hemos comentado, es una rama de la Mecánica de Fluidos en general) se debe en particular al nacimiento y desarrollo, a los retos tecnológicos planteados ya las necesidades de mejora continua de las industrias Aeronáutica y Astronáutica durante todo el prodigioso y agitado pasado siglo XX. Como no podía ser menos, de este desarrollo espectacular de la Aeronáutica se ha beneficiado en particular la Energía Eólica en muchos de sus diversos aspectos y disciplinas como ya hemos reseñado anteriormente, pues baste simplemente decir como botón de muestra que los primeros perfiles aerodinámicos utilizados en las palas de los aerogeneradores modernos en los años sesenta, setenta y ochenta eran perfiles aeronáuticos que se utilizaban en aviones de su época o anteriores. Sin embargo, la industria eólica ha crecido de tal manera que**

- hoy día existen perfiles para aeroturbinas diseñados ad hoc.
- Otro factor muy, importante que ha contribuido fundamentalmente desde el último tercio del pasado siglo XX hasta nuestros días y que va a seguir contribuyendo con total seguridad al desarrollo de la Aerodinámica y esto lo decimos en una forma totalmente apodíctica, es la aparición de los ordenadores y los procesos de súper computación, que han permitido resolver numéricamente con rapidez y con mayor o menor grado de aproximación, problemas de la Aerodinámica muy complejos que serían prácticamente imposibles de resolver analíticamente, a golpes de lapicero. Evidentemente hoy día cualquier gran compañía de diseño de: cohetes lanzadores, aeronaves, aeroturbinas, barcos, automóviles, etc., cuentan entre sus activos electrónicos con estas máquinas que son totalmente indispensables.
 - Así pues y como ya se ha indicado con anterioridad, dentro de la propia ciencia de la Mecánica de Fluidos encontramos a la Aerodinámica que como ya sabemos bien, constituye per se, una rama o parte importante de aquella y en la cual el fluido en movimiento que es objeto de estudio, es precisamente el aire que se mueve alrededor de los cuerpos. A su vez y dentro de ésta última, encontramos la llamada aerodinámica de aeroturbinas que es precisamente el tema objeto de esta ponencia. En particular, la aerodinámica de aeroturbinas estudia y calcula las acciones que el aire ejerce sobre todas las superficies exteriores de la aeroturbina como consecuencia del movimiento relativo entre dicho fluido y tales superficies.
 - Hay que señalar, que esta Ponencia se centra únicamente en la aerodinámica del rotor, o dicho de otra manera de las acciones que aparecen sobre las alas o aspas del rotor de la aeroturbina al fluir el aire en su derredor.
 - Vamos ahora a decir unas palabras sobre el fluido que es la base de esta ciencia que como bien sabemos es el aire y también sobre las características del tipo de movimiento definido por este fluido al circundar los perfiles aerodinámicos de las palas, tratando a la vez de justificar las simplificaciones que vamos a realizar para poder desarrollar los temas aerodinámicos en esta Ponencia en el nivel que le corresponde, (si el lector no conoce o no está familiarizado con las ecuaciones de la Mecánica de Fluidos, puede dar aquí si así lo prefiere, un salto en la lectura y pasar directamente al párrafo en el cual se describen las ecuaciones simplificadas recuadradas).
 - Debido a que el aire es un gas, que puede en general comportarse como un fluido viscoso, compresible y con fenómenos asociados a la transferencia de calor y otros, los estudios de este fluido bajo ciertas condiciones y en ciertos problemas reales de la Aerodinámica pueden llegar a ser tremendamente complejos, ya que no se conocen soluciones analíticas exactas de las ecuaciones de Navier Stokes completas, ni tan siquiera, de muchas de sus formas simplificadas (salvo en algunos problemas particulares simplificados muy determinados) y en consecuencia, en la mayoría de los casos es necesario por ejemplo el concurso de técnicas de diferencias finitas u otras, asistidas por computador para resolver o aproximar

- numéricamente las soluciones de los mismos.
- Sin embargo y para nuestro alivio, en la aerodinámica aplicada a las aeroturbinas y particularmente dentro del ámbito académico que se va a mostrar en esta Ponencia, es posible hacer una serie de simplificaciones en el modelo fluido dinámico, mediante el análisis de los diversos fenómenos físicos que intervienen y de sus órdenes de magnitud propios, lo cual conducirá a que las ecuaciones de la Mecánica de Fluidos se puedan simplificar mucho y en definitiva podamos trabajar con modelos aerodinámicos y ecuaciones, mucho más sencillos. Vamos pues a ver a continuación una serie de consideraciones físicas fundamentales, las cuales van a permitir justificar ciertas simplificaciones del modelo fluido que emplearemos en esta Ponencia y a la vez exonerar los métodos y procesos de cálculo en el mismo.
 - Destacaremos en primer lugar que los órdenes de magnitud de las velocidades del aire que intervienen en los problemas asociados a estas máquinas son relativamente moderados, así como también lo son las velocidades de giro de los rotores de las mismas (ya que no se puede permitir en estas máquinas que la velocidad de punta de pala sea excesivamente alta porque aparecerían fenómenos de compresibilidad y el ruido aerodinámico que producirían sería insoportable, amén de una bajada drástica en el rendimiento de la máquina por el aumento de resistencia aerodinámica), de tal manera y en definitiva que las velocidades relativas entre el aire y las palas no van a ser altas, por lo cual, los números de Mach asociados a estos movimientos son realmente muy bajos y en consecuencia se pueden despreciar las variaciones de densidad del aire frente a la propia densidad ($\Delta\rho / \rho = M^2 / 2$ siendo: ρ la densidad y M el número de Mach) y consecuencia no se van a presentar fenómenos sensibles de compresibilidad en el fluido, es decir; se puede tratar al aire como si fuera un fluido prácticamente incompresible (un fluido con densidad constante), o sea; como si de un líquido se tratase.
 - Si el fluido en la Corriente Exterior a la Capa Límite se puede considerar como incompresible, entonces de la Ecuación de Continuidad de la Mecánica de Fluidos se deduce que la divergencia de la velocidad es nula ($\nabla \cdot \mathbf{V} = 0$) por lo cual en la Corriente Exterior no hay ni manantiales ni sumideros de fluido.
 - Por otra parte, salvo el caso de las palas girando a muy bajas vueltas y con muy bajas velocidades de viento, como por ejemplo sucede en los arranques de máquina, en general los números de Reynolds $R_e = \rho \times c \times V / \mu$ asociados a estos movimientos, (donde c es la longitud característica de la cuerda del perfil de la pala), van a ser muy altos y por tanto, en la corriente de aire alrededor del perfil de la pala, exterior a la Capa Límite y a su estela (es decir fuera de Capa Límite y de su estela), resulta que el análisis de la ecuación de Cantidad de Movimiento de la Mecánica de Fluidos, muestra que los términos característicos de las fuerzas de viscosidad van a ser despreciables frente a los términos característicos de las fuerzas convectivas inerciales que intervienen en dicha ecuación, pudiéndose en definitiva despreciar los términos de

viscosidad en dichas ecuaciones, lo cual se traduce en que se pueda considerar muy aproximadamente al aire en la Corriente Exterior, como un fluido ideal sin viscosidad. Debido a que el número de Froude también es muy grande, en la anterior ecuación el término de fuerzas de gravedad sobre el aire es del orden de $(1 / Fr)$ y por tanto la influencia de las fuerzas de gravedad sobre el fluido puede despreciarse también frente a los términos convectivos.

- Sin embargo las fuerzas de presión son tan importantes como las que más (físicamente la presión es la que se encarga de equilibrar las variaciones provocadas por los términos convectivos de inercia) y es necesario retenerlas en la Ecuación de Cantidad de Movimiento. Esta finalmente queda simplificada y se escribe de la forma siguiente: $(\rho \times DV / Dt = -VP)$ que es la ecuación de Euler para fluidos ideales, a la cual le falta el término de fuerzas másicas.
- Suponiendo además al aire en estos regímenes como gas caloríficamente perfecto, si planteamos la ecuación de la Energía, en ella intervienen: el término de transmisión de calor convectivo, el término de transmisión de calor por conducción, el término de variación de la presión, el término de disipación Por viscosidad (que viene dado por la Función de Disipación de Rayleigh) y los términos de adición de, calor por radiación y reacción química. Referente a los calores comunicados al fluido por radiación y reacción química, hay que decir que en estos problemas aerodinámicos de aeroturbinas resulta que: por una parte no hay fuentes de calor ni por reacción química ni de radiación de las palas al fluido ni viceversa y además la contribución de la radiación solar al fluido (aire) es muy baja. Suponiendo ahora que el término convectivo es del orden de la unidad, entonces el orden de magnitud de los términos viscosos disipativos en esta ecuación (Función de Disipación de Rayleigh) es del orden del número de Mach al cuadrado dividido por el número de Reynolds, siendo el número Mach muy bajo y el número de Reynolds muy alto en este tipo de movimientos de la Corriente Exterior a la Capa Límite y su estela; hace que este cociente sea realmente muy pequeño y por tanto el término viscoso (termino de Rayleigh) sea despreciable en ésta ecuación frente al término convectivo. Además el término de transferencia de calor por conducción es del orden de la inversa del producto: Reynolds x Prandtl; como el producto del número de Reynolds por el número de Prandtl es también muy alto (puesto que el número de Prandtl en el aire a temperatura ambiente es del orden unidad $P_R(\text{aire}) = 0,72$) su inversa va a ser muy bajo y esto significa que el término de transferencia de calor por conducción en el fluido es también despreciable en esta ecuación frente al término convectivo y con todo esto visto hasta ahora, nos permite en definitiva suponer que el movimiento es adiabático. El

término de presión es también del orden de la unidad y es tan importante como el que más. Así pues en la ecuación de la energía solo queda el término convectivo que es equilibrado por el término de variación de presión, quedando en definitiva tal ecuación como $\rho \times C_p \times \frac{DT}{Dt} = \frac{DP}{Dt}$. Vemos pues que en este tipo de movimientos, las variaciones de temperatura (muy pequeñas por cierto) están asociadas a las variaciones de la presión, que también van a ser muy pequeñas. Por otra parte, si conocemos el campo de presiones, la anterior ecuación diferencial nos da entonces el campo de temperaturas en la Corriente Exterior.

- Si ahora planteamos la Ecuación de la Entropía en ella intervienen: el término de variación de entropía, el término de transmisión de calor por conducción, el término de disipación por viscosidad (Función de Disipación de Rayleigh) y los términos de adición de calor por radiación y reacción química. Por las mismas razones la contribución de los calores comunicados al fluido por radiación y reacción química es nula. Si suponemos que en la misma el término de variación de entropía es del orden de la unidad, un análisis semejante al anterior que acabamos de hacer con la ecuación de la energía (y que no repetimos otra vez para no extendernos mucho más), conduce en este tipo de movimiento de la Corriente Exterior a verificar que los demás términos de la ecuación son despreciables frente al término de variación de entropía. Por lo cual, en la ecuación de la Entropía solo queda el término de variación de la misma y en definitiva dicha ecuación se escribe como: $\rho \times T \frac{Ds}{Dt} = 0$
 $s = \text{cte.}$ por lo tanto la entropía es constante a lo largo de una línea de corriente en la Corriente Exterior y como además en el infinito aguas arriba suponemos condiciones uniformes y en particular también para la entropía, resulta finalmente que no hay variación de la entropía en la Corriente Exterior, es decir; que el movimiento en la misma es isentrópico.
- Por consiguiente, esto nos dice que salvo en zonas de Capa Límite y estelas, la variación de la entropía es totalmente despreciable, es decir el movimiento del aire en la Corriente Exterior a la Capa Límite y su estela se puede considerar como adiabático y reversible, lo cual nos permite escribir en este tipo de movimientos fluidos una función de barotropía (relación entre presión y densidad) de la forma $P / \rho^\gamma = \text{cte.}$ que es típica de los movimientos isentrópicos (adiabáticos y además reversibles).
- Sin embargo, esta consideración repetimos y no nos cansaremos de insistir en que ya no es válida en la Capa Límite de los perfiles de la pala

y en sus estelas detrás del rotor, pues dentro de la capa Límite por ejemplo, aunque esta sea muy delgada con espesor del orden de δ (siendo δ mucho mas pequeño que la longitud característica que define al perfil que es la cuerda c) resulta que al plantear en la zona de la Capa Límite, las ecuaciones de Navier Stokes (de Cantidad de Movimiento) y más concretamente la ecuación según la coordenada x en el sentido de la pared del perfil, aparece entre los otros un termino viscoso que viene dado por: $\mu \times \delta^2 \times u / dy^2$ (suponemos que el coeficiente dinámico de viscosidad μ es independiente de la temperatura y es prácticamente constante). Si suponemos en esta ecuación y dentro de la zona de la Capa Límite, que los términos convectivos son de orden de la unidad, dicho termino viscoso $\mu \times d^2u / dy^2$ resulta ser del orden de $(1 / Re^e) \times (L / \delta)^2$; (donde $Re = (\delta \times V_l \times L) / \mu$ está basado en la longitud L según x , en la cual esperamos variaciones de la velocidad longitudinal u de su propio orden V_l) por consiguiente, aunque $Re \gg 1$ sea alto, al estar multiplicado el factor $(1 / Re)$ por el cociente de longitudes características elevado al cuadrado $(L / \delta)^2$, como sabemos que $(L / \delta) \gg 1$ resulta que el orden de $(1 / Re) \times (L / \delta)^2$ puede ser del orden unidad y por tanto comparable perfectamente con los términos convectivos y de presión. Por consiguiente, dentro de la Capa Límite, el termino $\mu \times d^2u / dy^2$ no se puede obviar en dicha ecuación, lo que en definitiva nos quiere decir que los esfuerzos viscosos en la Capa Límite, debido precisamente a ese fuerte gradiente transversal de velocidades entre la pared y la Corriente Exterior donde termina dicha Capa Límite, son tan importantes como los términos convectivos y de presión. Por eso dentro de la capa límite el movimiento no es isentrópico y el movimiento también se caracteriza por su alta irreversibilidad. Digamos que el carácter de la ecuación escalar de la Cantidad de Movimiento según el eje x cambia drásticamente cuando pasamos de la Corriente Exterior al interior de la Capa Límite, precisamente por la epifanía del término viscoso $\mu \times d^2u / dy^2$ en la misma.

- Así pues, las anteriores consideraciones sobre el movimiento del aire alrededor de los perfiles de las palas de la Aeroturbina, conduce finalmente al modelo fluido que estudiaremos en esta Ponencia y que se caracteriza en su Corriente Exterior ala Capa Límite ya su estela por: números de Reynolds basados en la cuerda del perfil muy altos y en consecuencia con fuerzas de viscosidad despreciables, con fuerzas de gravedad despreciables, fenómenos de conducción de calor despreciables y en consecuencia, existiendo función de barotropía, en dicha Corriente Exterior.

- Para la Corriente Exterior y exclusivamente con los antecedentes en particular de: Reynolds muy altos, fuerzas de gravedad despreciables y existencia de función de barotropía, el teorema de Bjerknes-Kelvin establece que la circulación se conserva en todo el campo fluido de la Corriente Exterior. Si además, las condiciones en el infinito aguas arriba son uniformes y no existe circulación allí, por la aplicación de este teorema tampoco va a existir circulación alrededor de cualquier curva cerrada simplemente conexa que tracemos dentro del resto del campo fluido (salvo alrededor de un perfil de pala en régimen de sustentación y también salvo su propia estela) y entonces el movimiento de esta Corriente Exterior a perfiles y estelas se puede analizar mediante la llamada Teoría Potencial, de manera que el campo de velocidades deriva de una determinada función potencial, llamada Potencial de Velocidades, lo cual simplifica mucho el análisis y hace mucho más asequibles estos problemas aerodinámicos.
- Otra consecuencia muy importante de lo dicho anteriormente en estos movimientos es que el problema térmico va a quedar desacoplado del problema mecánico y por eso tampoco tenemos necesidad en esta Ponencia de estudiar el problema térmico de la corriente de aire, es decir, el problema de las distribuciones y variaciones de la temperatura (muy pequeñas por cierto) a lo largo y ancho del tubo de corriente. Por ello, en esta Ponencia, trabajaremos con variables como el campo de velocidades, la presión y la densidad, pero nunca con la temperatura.
- Se trabaja en el diseño de un conjunto de estos sensores, dataloggers y su estructura soporte que tengan la posibilidad de adaptarse a cualquier tipo de tejado o azotea de cualquier edificio y constituye la llamada: Estación Anemométrica Adaptable (EAA) a edificaciones de diversas morfologías.
- Una vez tengamos fabricado el prototipo y los hallamos ensayado adecuadamente, lo clonaremos e instalaremos en los tejados de edificios en la Comunidad de Madrid, para poder evaluar la actuación del viento en distintas circunstancias.

Conclusiones:

- Tendremos una máquina que permita evaluar la correlación entre situación geográfica y topográfica y potencialidad para la generación eólica de energía eléctrica en nivel mini urbano.
- Se alcanzará a tener el nivel de conocimientos suficientes para llegar a explotar industrialmente esta iniciativa.
- Aprovecharemos toda esta información en nuestro Proyecto de adaptar medios de generación eólica doméstica de energía eléctrica en entornos urbanos.