



Estudios de viabilidad para la micro-generación eólica en ambientes urbanos

F. González ^a, J. Cataldo ^b

^a IIMPI -UdelaR, Uruguay, fgonzalez@fing.edu.uy.

^b IMFIA -UdelaR, Uruguay, jcataldo@fing.edu.uy

RESUMEN: En este trabajo, se estudia la viabilidad para la instalación de microgeneración eólica en ambientes urbanos en Montevideo y comparativas con otros países. Para ello, se realiza una caracterización de las curvas de demanda de consumo en distintas zonas, y se caracteriza el recurso eólico, se toman datos de varios aerogeneradores y se simula la energía producida y neta, y se determinan los ahorros correspondientes. La metodología propuesta permite estudiar tipología de consumidores y localización, tarifa y modelos de aerogeneradores para los cuales resulta factible considerar la instalación de microgeneración eólica en régimen de autoproducción.

PALABRAS CLAVE: Autoproducción, eólica urbana, microgeneración, VAWT.

1 INTRODUCCIÓN

Mucho se ha escrito en la literatura existente sobre los impactos de la Generación Distribuida (GD) en las redes, sus costos y beneficios, y sobre la forma de remunerarlos en las tarifas (Schweer et al., 1999), (Hadley et al., 2005), (Maribu, 2005), (Jenkins et. al, 2000), (Mendez et al., 2002), (Sotkiewicz y Vignolo, 2007). En varios países, y en particular, en Uruguay, se han desarrollado reglamentaciones que promocionan este tipo de generación (Poder Ejecutivo de Uruguay (PEU), 2010), (Ministerio de Industria, Energía y Minería(MIEM), 2010) . Sin embargo, el desarrollo de la GD dependerá de la tecnología y de las condiciones particulares que se presenten para su instalación y operación, debiendo satisfacer la ecuación costo-beneficio, y las condiciones técnicas para un funcionamiento confiable y seguro. En (WINEUR, 2007) se presenta un análisis sobre la utilización de la energía eólica en el esquema de GD en Europa.

Este trabajo se estudia la factibilidad para la instalación de aerogeneradores de pequeño porte en ambientes urbanos, en régimen de autoproducción, en el cual parte del consumo de un residencial es suministrado por el aerogenerador. Se realiza una caracterización de las curvas de demanda de diferentes zonas de Montevideo, se toman varios equipos disponibles en el mercado y se simula la energía producida según datos de viento para cada zona, y se determinan los ahorros correspondientes en la factura eléctrica para dos regímenes tarifarios. La metodología, que incluye el desarrollo de un código para la simulación energética y cálculo de ahorros, permite identificar los casos de localización, tipología de consumidores, tarifa y aerogeneradores para los cuales resulta factible la instalación de microgeneración eólica en régimen de autoproducción.

2 MODELADO DE LA DEMANDA Y GENERACIÓN

2.1 Determinación de la velocidad de viento

La determinación de la velocidad de viento es un aspecto central en el análisis de la viabilidad de la microgeneración eólica a nivel residencial. A partir del mapa eólico de Montevideo para vien-

tos presentado en (MIEM, 2010) se obtienen la series temporales de velocidad de viento a 90m sobre el suelo.

Para relacionar la serie temporal de datos de viento disponible, con la velocidad en entornos urbanos donde serán instaladas las trubinas eólicas, se realizan modelos físicos de las zonas de interés para ser ensayados en el túnel de viento. A partir de un análisis arquitectónico, se determinaron tres zonas urbanas consideradas como representativas de Montevideo, considerando forma y tamaño de las estructuras. Estas tres áreas fueron clasificadas como “alta densidad”, “media densidad” y “baja densidad”, refiriendo a la demografía de la zona.

Se construyeron y ensayaron en el túnel de viento de Facultad de Ingeniería modelos físicos representativos de las tres zonas. Durante estos ensayos, se midió la velocidad en una grilla (de aproximadamente 30 puntos) sobre el modelo, para cada dirección de viento. Este procedimiento resulta en coeficientes que relacionan la velocidad en cada punto con la velocidad inalterada, correspondiente a la velocidad a 90m de altura sobre el suelo. Estos son llamados factores de *speed up* (FV). También fue calculada la intensidad de turbulencia, (IT), para cada punto y cada dirección de viento.

2.2 Selección de aerogeneradores

Se analiza la operación de distintos aerogeneradores, con el fin de determinar su desempeño en entornos urbanos. Este desempeño se evaluó determinando el factor de capacidad (FC) que se obtendría para cada aerogenerador de lo presentados presentados en (WINEUR, 2007), y para cada uno de los sitios analizados. El FC se define como el cociente entre la potencia media generada y la potencia nominal del equipo. En este trabajo solo se consideran aerogeneradores de eje vertical, entendiéndose como los adecuados para operar en entornos urbanos con altas intensidades de turbulencia.

Finalmente, fue seleccionado un equipo de 1kW VAWT (AEOLO), que muestra el mejor factor de capacidad para las tres zonas.

2.3 Curva de carga residencial

Para la determinación de la curva de carga residencial se utilizó información suministrada directamente por UTE. La información necesaria fue generada a partir de dos curvas de carga promedio para la ciudad de Montevideo. Una de las curvas proporcionadas es estimada para los meses de verano y la otra curva de carga modela los consumos de hogares para los meses invernales. Las curvas disponibles son horarias, de valor unitario y modelan el consumo diario de un hogar promedio.

A su vez, se tienen los consumos residenciales mensuales en kWh, para cada zona de Montevideo, con lo cual se obtienen cuatro franjas de consumo según el ingreso del hogar. Ingresos bajos 123kWh, medios 255kWh, altos 589kWh y muy altos 937kWh.

(PEU, 2010) es el decreto de microgeneración, que establece que un usuario residencial puede instalar un sistema de generación con una potencia nominal de manera que la corriente no su-

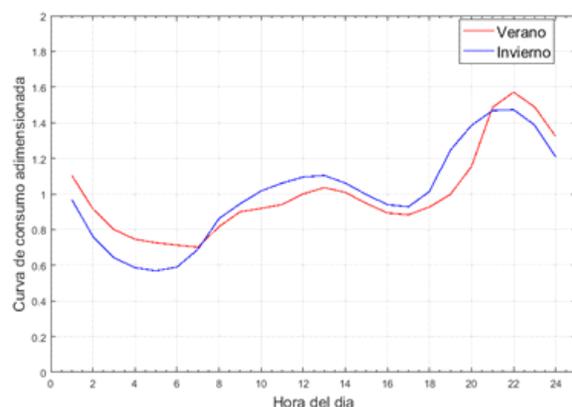


Figura 1



Asociación de Universidades
GRUPO MONTEVIDEO



UNIVERSIDAD
DE LA REPUBLICA
URUGUAY

pere 16 A. Este Decreto, (PEU, 2010), establece que la remuneración de la energía generada se realice en base a la energía neta consumida y que se aplique el mismo esquema tarifario que posea el usuario. En caso de ser tarifa residencial simple se remunera la energía generada a partir del precio del segundo escalón.

2.4 *Producción energética*

Para la determinación de la producción energética anual, es necesario conocer la velocidad del viento a la altura del rotor del aerogenerador y la curva de potencia del mismo, proporcionada por el fabricante.

Utilizando la metodología presentada en la sección 2.1, se obtiene la serie anual de viento necesaria para evaluar el desempeño energético de la turbina eólica en los puntos de interés. Se seleccionaron los sitios con mayor velocidad medida y menor IT. En (WINEUR, 2007) se presenta información de distintos aerogeneradores disponibles en el mercado europeo.

3 SIMULACIONES Y CASO DE ESTUDIO

Para el análisis de la viabilidad económica de la instalación de un aerogenerador en el ambiente urbano, se realizó un código en MatLab®, donde se calcula la energía que generaría el aerogenerador a partir de los datos del viento y se compara con la curva de carga residencial.

Finalmente, dependiendo de la tarifa, se calculan los ahorros anuales para cada curva de consumo y cada aerogenerador.

Con este modelo es posible identificar el aerogenerador que transforma de manera más eficiente la energía eólica a energía eléctrica en el sitio de estudio. Para cada caso, los indicadores económicos son obtenidos. Además, se determinan los indicadores relacionados con las emisiones de carbono evitadas.

3.1 *Comparativa según curvas de consumo*

Se analizaron los resultados obtenidos para los aerogeneradores considerando las distintas curvas de consumo correspondientes a ingresos bajo, medio, altos y extra altos (nombradas curvas de consumo 1, 2, 3 y 4 respectivamente), así como para dos esquemas tarifarios.

Se determinó el ahorro económico para un usuario determinado como la diferencia entre el gasto sin aerogenerador y el gasto con aerogenerador. En las figuras 2 y 3 se presentan dichos ahorros para cada uno de los dos esquemas tarifarios. El valor de la potencia en abscisas corresponde a la potencia nominal de distintos aerogeneradores analizados.

De las comparaciones de varios equipos eólicos resulta que los ahorros se ven favorecidos para las curvas de consumo correspondientes a los mayores ingresos.

El aumento del ahorro con el aumento en el consumo para el caso de la tarifa simple, se puede explicar considerando que el pliego tarifario de energía eléctrica factura la energía por escalones, los cuales incrementan su precio al incrementar la cantidad de energía consumida. La energía neta del hogar es la diferencia entre la demanda y la producción energética asociada al aerogenerador, y es a ésta a la que se aplica la tarifa para determinar los costos. Mientras la energía neta se mantenga en el último escalón de consumo, los ahorros asociados a la producción energética serán máximos, ya que el precio de la energía es máximo.

A medida que el consumo neto es menor, la energía neta demandada por el hogar se ubicará en los escalones de energía de menor costo, y los ahorros generados por la producción, en términos relativos, serán también menores.

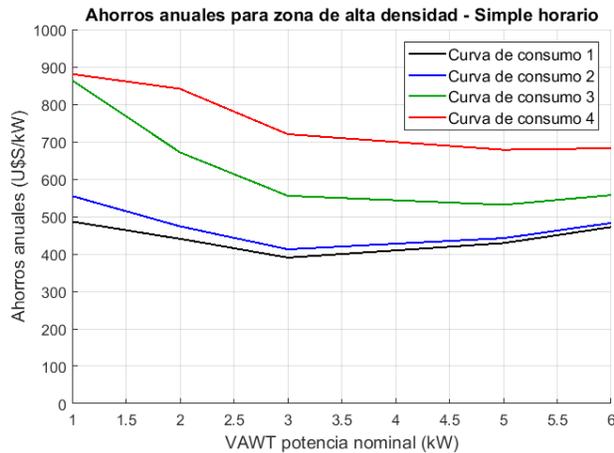


Figura 2

3.2 Generación en doble horario

En los casos analizados la tarifa doble horario genera menores ahorros que el mismo caso utilizando la tarifa simple horario.

Para entender esta diferencia y plantear posibles escenarios donde cambie esta situación, se obtuvo del modelo analítico, la proporción de energía generada para cada hora del día y se muestra en la figura 4.

No se identifica un período de horas donde se concentre la generación de energía, lo que indica que no existe un horario preferencial para la generación de energía eólica el cual se pueda asociar con un horario tarifario que beneficie la remuneración, y por tanto, mejore el proyecto de inversión.

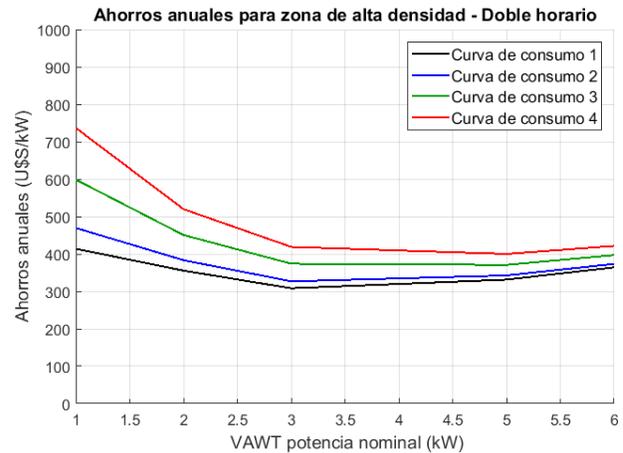


Figura 3

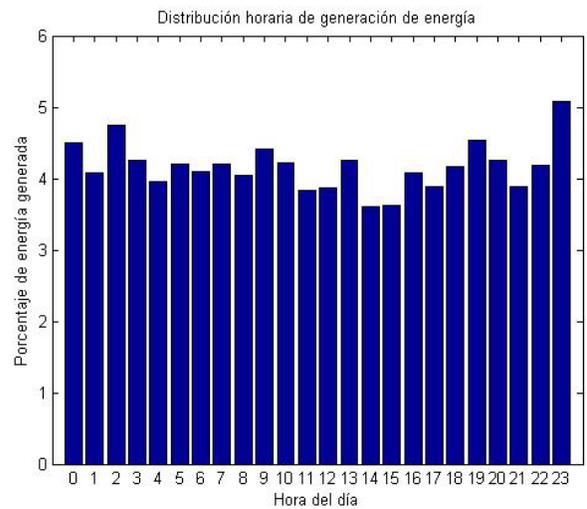


Figura 4

3.3 Caso Base

Con el fin de establecer una situación de referencia para comparar los resultados obtenidos que se muestran en las próximas secciones, se define un caso base en el cual se vende la energía generada por el equipo eólico, sin ningún consumo energético. La evaluación económica, se realiza según indicadores económicos VAN (valor actual neto), TIR (tasa interna de retorno) y PB (pay back o periodo de retorno). Los resultados para el caso base (sin energía consumida) son presentados en la tabla.

Simple horario						
Lugar	Inv. (U\$S)	FC (%)	Ahorros anuales (U\$S)	PB (años)	TIR (%)	VAN (U\$S)
Alta densidad de población	16697	23,2	1165	13	1,5	-8405
Media densidad de población	16697	13,7	688	21	3,4	-6777
Baja densidad de población	16697	9,7	488	29	-1,8	-10844

Por otro lado, también se considera la situación para otros países, basado en el precio de la energía eléctrica, y se obtienen los ahorros anuales y el periodo de repago. Se considera únicamente el precio comercial de la energía, y no se tienen en cuenta posibles variaciones según escalones en el consumo, ni franjas horarias. Además, se supone que la energía producida, es comprada por la compañía de distribución eléctrica al mismo precio que es vendida. Bajo estas hipótesis, el precio unitario de la energía que cumpla un periodo de retorno aceptable (10 años), utilizando el aerogenerador con el mejor desempeño resulta en 0,309 U\$S/kWh. Países como Japón, Portugal, Canadá, Dinamarca e Italia cumplen esta condición.

3.4 *Caso con consumo real*

Se calculan entonces, los indicadores económicos considerando la producción de energía, y el consumo del hogar. El caso más favorable se da, como se explicó anteriormente, para los mayores consumidores (extra altos ingresos), y para la zona de alta densidad de población. Resultando en un PB de 9 años, en vez de los 13 años resultantes para el caso base para el cual no hay consumo en el hogar. La inversión de los aerogeneradores considerados resulta mínimamente rentable, únicamente para el esquema tarifario simple horario y para la zona de alta densidad se obtiene un PB menor a 10 años. El análisis es muy sensible a la microlocalización, siendo que el FC puede variar entre 9,7% y 23,2% para el mismo aerogenerador, dependiendo del área considerada, lo cual impacta sensiblemente en la energía producida, y por ende en los indicadores económicos.

Los países que tienen un costo mayor en la energía eléctrica muestran un periodo de repago más favorable, aún sin considerar el consumo de energía del hogar.

3.5 *Variación de la potencia del aerogenerador*

Se analiza la existencia de un caso óptimo de ahorro en función de la potencia instalada. Para esto se considera una familia de aerogeneradores escalando la curva del mismo, variando la potencia nominal. Se asume que cada uno de estos aerogeneradores es instalado en una vivienda ubicada en una zona de alta densidad y que el usuario tiene un nivel de consumo que entra en la categoría de muy altos ingresos.

En la figura 5 se observa que la función de ahorro por unidad de potencia nominal en función de la potencia del aerogenerador presenta un máximo absoluto. Este máximo se da donde la energía neta mensual intercambiada es 600kWh, consumo por encima del cual comienza a tener participación el tercer escalón tarifario. En el presente caso de estudio, esto corresponde a una potencia instalada de 2kW. Luego se observa que la función tiende a un valor asintótico cuando la energía intercambiada es negativa (más generación que consumo).

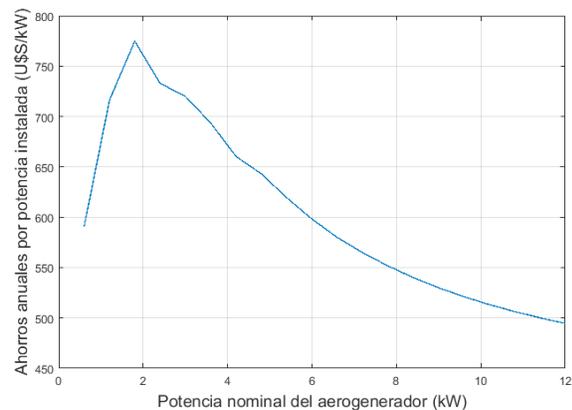


Figura 5

3.6 *Beneficios por emisión de CO₂*

Actualmente la red uruguaya tiene un factor de emisión muy bajo y por tanto, se tiene que generar una gran cantidad de energía para ver el beneficio económico por evitar la emisión de carbono. Este beneficio, depende del aerogenerador considerado, pero presenta un valor que nunca

llega a un dólar, resultando que la reducción de emisión de CO₂ es despreciable, y además no tienen impacto en la viabilidad económica de la microgeneración eólica.

4 CONCLUSIONES

En este trabajo, se desarrolla un código para la simulación energética y cálculo de ahorros, que permite identificar los casos de localización, tipología de consumidores, tarifa y tipo de aerogeneradores para los cuales resulta factible considerar la instalación de microgeneración eólica en régimen de autoproducción a nivel residencial.

Como primer resultado, se destaca que a mayor consumo energético del hogar, la instalación de un aerogenerador resulta más rentable. Se observa que en el caso de la tarifa energética uruguayana el mejor resultado se da para el pliego tarifario Simple Horario. Un cálculo simplificado fue realizado para otros países, considerando una tarifa plana, lo cual resulta en el precio mínimo de la energía para el cual los proyectos de inversión en microgeneración eólica comienzan a ser rentables. Varios de los países considerados satisfacen este mínimo (Japón, Portugal, Canadá, Dinamarca e Italia).

Se logró identificar un caso óptimo de generación, correspondiente al caso que el aerogenerador evita el consumo de energía dentro del tercer escalón de consumo (consumo mayor a 600kWh) cuando la energía es más onerosa.

Por último, se observa que no es rentable instalar un aerogenerador de potencias mucho mayores, ya que el ahorro por unidad de potencia, según la potencia del aerogenerador, decae asintóticamente a medida que la potencia aumenta.

5 REFERENCIAS

- [1] Schweer, A., & Study Committee Power System Planning and Development International Conference on Large High Voltage Electric Systems. (1999). *Impact of increasing contribution of dispersed generation on the power system*. Cigré.
- [2] Hadley, S. W., Van Dyke, J. W., & Stovall, T. K. (2003). *The effect of distributed energy resource competition with central generation*. United States. Department of Energy.
- [3] Maribu, K. M. (2005). Distributed generation in liberalised electricity markets. *A Summary of PhD Projects 2002*.
- [4] Jenkins, N., Allan, R., Crossley, P., Kirschen, D., & Strbac, G. (2000). Embedded Generation (IEE Power) PBPO0310. *Institution of Engineering and Technology*.
- [5] Mendez, V. H., Rivier, J., De la Fuente, J. I., Gomez, T., Arceluz, J., & Marin, J. (2002, November). Impact of distributed generation on distribution losses. In *Proceedings of the 3rd Mediterranean Conference and Exhibition on Power Generation, Transmission, Distribution and Energy Conversion*.
- [6] Sotkiewicz, P. M., & Vignolo, J. M. (2007). Towards a cost causation-based tariff for distribution networks with DG. *IEEE Transactions on Power Systems*, 22(3), 1051-1060.
- [7] Poder Ejecutivo de Uruguay, Decreto N° 173/10, 2010.
- [8] Ministerio de Industria, Energía y Minería, Resolución N° 1896/10, julio 2010.
- [9] WINEUR, "Guidelines for small wind turbines in built environment", Wind Energy Integration in the Urban Environment, www.urbanwind.org, 2007.
- [10] WINEUR (1), "Catalogue of European Urban Wind Turbine Manufactures", Wind Energy Integration in the Urban Environment, www.urbanwind.org, 2007.
- [11] WINEUR (2), "Urban Wind Turbines, Technology Review", Wind Energy Integration in the Urban Environment, www.urbanwind.org, 2007.
- [12] Pliego tarifario de UTE, 2018, www.ute.com.uy.