

Informe y cálculo de eficiencia de la torre solar JVR

Es muy importante aportar un informe con el adelanto de los cálculos, en los que, además de poder apreciar sus posibilidades reales, se puedan ver las diferencias y similitudes de la Torre Solar JVR de 100 a 150 metros de altura y 30 metros de radio con otras torres de ascensión. Primero, y para ver su peculiaridad, se realiza en la forma más simple y económica, no más de 15 millones de euros, aun cuando la comparativa se realice con el coste total de los veinte millones de euros, en que se incluye en el presupuesto el almacenamiento de la energía nocturna y la realización con la turbina de gas modificada para emplearla con la energía solar. Pero ahora, en este informe, se realizan los cálculos para el caso de utilizarla con turbinas eólicas en la parte inferior o en vertical y con la recepción de la energía de los helióstatos en una ventana transparente, ya sea en el 60 por ciento de su circunferencia, instalada inmediatamente superior a los generadores eólicos o en toda su periferia.

El diseño que creemos más efectivo es el proyecto de la Torre que va con una turbina de gas de 7 metros de area (1,50m de radio) en la zona del quemador de la turbina, en vertical y dentro de la torre solar en la parte del primer tercio de la altura de la torre, en donde se recibirá la proyección de la energía de los helióstatos y con la que se quiere producir de 20 a 60 MW.

En este informe lo haremos en su forma simple, con los helióstatos, y con el fin de conseguir de 10 a 20 Mw; comparándola con la torre proyectada para Fuente el Fresno de 750 metros de altura y 70 metros de diámetro, con un receptor de irradiación solar del tipo invernadero con una superficie de 1.450 metros de radio, y de la que se proyecta conseguir de 30 a 50 Mw.

Es importante adelantar que los cálculos de la Torre de Aldea del Fresno, los he realizado a partir de los datos que circulan por Internet. Ambos: para la Torre JVR y Aldea del Fresno, las formulas las ofreceré, en este informe, con números directos y fórmulas resueltas para mayor comprensión del lector. En ambos la densidad del aire se interpreta como 1,225 kg/m³. Se supone que la temperatura ambiente es de 27 grados °C. Y que G es la potencia en W/m², en este caso de 1000 Wm² y limitando las posibilidades del generador eólico al límite que estableció Betz, que es el 59% en la mejor de sus posibilidades. T_f es la temperatura del fluido y T_a es la temperatura ambiente del aire, ambos en °C.

Hornos solares

Antes adelantaremos que JVR, a diferencia de la de Aldea del Fresno, aplica la irradiación recibida en un invernadero de 150 m de radio, pero lo novedoso es que esta energía se acumula durante las horas de sol, para utilizarla únicamente en horas sin sol. La clave de JVR es el horno solar, en el calentamiento del aire y que es él directamente quien realizará el trabajo sobre la turbina por medio de la temperatura irradiada por los helióstatos de seguimiento solar automático. Por ello explicaremos con un ejemplo las temperaturas que se llegan a alcanzar en los hornos solares con una pequeña referencia sacada de un documento fiable que circula por internet, para que se hagan idea de la temperatura que se puede alcanzar con esta instalación en el centro de la turbina, convertido en un horno solar en el que se ha de calentar lo que puede ser un gas perfecto como es el aire:

“Los hornos solares son una aplicación importante de los concentradores de alta temperatura. El mayor, situado en Odeillo, en la parte francesa de los Pirineos, tiene 9.600 reflectores con una superficie total de unos **1.900 m²** para producir temperaturas de hasta **4.000 °C**. Estos hornos son ideales para investigaciones, por ejemplo, en la investigación de materiales, que requieren temperaturas altas en entornos libres de contaminantes”.

Incidiremos que en la torre JVR, al igual que en la PS10 de Sevilla, en el ésta última no es torre de ascensión y se utiliza agua a convertir en vapor que es el elemento que moverá la turbina y que se sabe que se consigue unos 11 Mw, tienen la diferencia sobre las demás de que se utilizan reflectores (helióstatos) de una superficie reflectante total de 74.880 m² (624 Heliostatos de 120m² cada uno) por lo que se pueden suponer que superamos con creces los 1000 grados °C (sin circulación de fluidos) en el horno solar JVR sin ninguna dificultad.

Repetimos que en este informe la torre JVR tan sólo se presenta como una torre de efecto chimenea, con la diferencia de que el invernadero no funciona durante el día y su energía es aplicada por helióstatos directamente al primer tercio de la altura de la torre a través de una ventana. Hasta la fecha no hay cálculos con este sistema y habría que realizar un prototipo que, a creencia de su creador, daría mucho más de lo que aquí se determina, a pesar de que como apreciarán los resultados son excelentes.

Comenzaremos con la

Torre de Fuente El Fresno:

Coste aproximado: 300.000.000 euros, se comenta que 420% actualizado a la fecha.

Altura de la torre: 750 m

Diámetro de la torre: 70 m

Diámetro de la zona de invernadero: 2900 m

Altura media de la zona de invernadero: 2 m

En estas condiciones, los promotores del proyecto pretenden generar una potencia eléctrica de entre **30 y 50 Mw**. Supongamos pues que la potencia eléctrica del generador es de **50 MW**

El área total irradiada en la zona de invernadero es de: $A = R^2 * \pi$

$$A = 1450^2 * \pi = 6601850 \text{ m}^2$$

La irradiación solar total en la zona de invernadero es de:

$$Rad = 6601850 * 1000 = 660185^4 \text{ W (6602 Mw)}$$

En éste caso no tomamos en cuenta para nuestros cálculos la eficacia nocturna (en la instalación de la Aldea del Fresno), ya que la irradiación que se recibe en el invernadero es la que se utiliza directamente para el uso diurno por lo que la que acumula para las horas nocturnas suponemos que es muy reducida, suponemos que limitándose quizás a unos kw de productividad, no obstante no hay datos de su utilidad y de las energías que calculan para las horas nocturnas o sin radiación solar.

En esas condiciones, suponiendo que se consigue 50Mw, el límite superior de producción eléctrica, **el rendimiento global del sistema** es de: $n = E/Rad$

$$\text{Rendimiento global de: } n = 50/6602 = 0.757 \%$$

La corriente de aire, como energía cinética que circula por el interior de la torre es la potencia disponible para ser convertida en corriente eléctrica: $Fl = \frac{Rad}{n}$

$$\text{Flujo} = 6602/0.757 = 872126.81 \text{ w (87Mw)}$$

La superficie de entrada y salida de la torre, o área del interior de la torre es de un radio de 35 m por lo que su área o salida es: $Sc = r^2 * \pi$

$$\text{Área de la torre: } St = 35^2 * \pi = 3846\text{m}^2$$

La **velocidad** en la torre sería de: $Vt = (2*Fl)/p*\pi*r^2)^{(1/3)}$

$$\text{Velocidad en torre: } Vt = \sqrt[3]{(2 * 87 / (1.225 * \pi * 35^2))} = 33\text{ms}$$

Con un flujo total del aire de: $Fm = p * St * Vt$

$$Fm = 1.225 * 3846 * 33 = 155000 \text{ Kg/s}$$

La superficie del aire en la entrada a la torre contando que la altura del invernadero es de 2 m, es de: $As = \pi * Dt * Ai$

$$\text{Area salida invernadero a torre } As = \pi * 70 * 2 = 440 \text{ m}^2$$

(70, diámetro; 2 altura de la embocadura)

La velocidad de entrada en la boca sería de: $Vbt = Fm / b * As$

$$VbT = 155000 / 1.225 * 440 = 288 \text{ m/s (velocidad imposible, pero que remitiría elevando la embocadura de la torre)}$$

Ante ello y para al fin obtener un resultado de la posible energía que pudiera dar, mediante los generadores, evaluando el máximo de Betz del 59%, nos limitaremos al flujo del interior de la torre con su área interior de la torre de 3846m^2 y con la velocidad resultante de Vt de 33 ms. por lo que **la energía resultante para eólica** es:

$$Er = \frac{1}{2} * b * \pi * A^2 * Vt^3 * 59/100$$

$$Er = \frac{1}{2} * 1.225 * \pi * 35^2 * 33^3 * 59/100 = 49.955.469 \text{ W (50 MW)}$$

Por ello la potencia eléctrica de la torre de Aldea del Fresno podría alcanzar los 50 Mw que buscan.

Torre Solar JVR: coste aproximado 20.000.000 de euros con el invernadero

Altura de la torre: 125 m

Diámetro interior de la Torre: 30 m de radio

Diámetro del invernadero: 300 m

Nº de heliostatos de 624 X 120 m²

Altura del invernadero hasta los acumuladores= en ascenso desde 1m en la entrada a 4 la mayor altura y de media 2m en 150 metros de radio con 300 de diámetro total.

Se supondrá que en el cálculo que se presenta en este informe, va a funcionar sin el invernadero irradiado, y sí como una torre normal, con la diferencia de que se le proyecta la energía de los heliostatos en el primer tercio de la torre, bien en toda su periferia o bien desde la parte norte en un 60% de su circunferencia por 4 m de altura. Los cálculos se expondrán con una turbina eólica vertical en su interior o varias en la entrada de la base. Sería mi deseo presentarlos en su mejor forma: como turbina de gas con un radio de 1.50 metros de radio (7 de A) en su parte del quemador, que nosotros llamamos horno solar y con dos levas superiores de salida de 49,80 m de diámetro cada una y en las inferiores de 12 levas, siendo la inferior de 49,80 a 7m de diámetro la inmediata a la que precede al horno solar, o irradiado por los heliostatos.

La parte de invernadero que será para generar electricidad en horas nocturnas o sin energía solar, tan sólo se tendrá en cuenta para los cálculos con el fin de ver que energía conseguiremos en W de irradiación y la que conseguiríamos al final del día para aplicarla a generar energía, la cual pudiera ser de muchas formas ya que la tendríamos almacenada.

Los cálculos los realizamos con los mismos que en la torre anterior con el fin de no diferenciarlos en nada.

Tengamos en cuenta que la diferencia de altura de la torre se debe a que el efecto de diferencia de temperatura en entrada con la de salida, en el caso de la torre JVR, se debe a la aplicación directa de la energía irradiada por los heliostatos a su interior.

Potencia eléctrica que se desea conseguir= de 10 a 20 mW Supongamos en este caso que la potencia eléctrica es la de 20 Mw

El área total irradiada en la zona de invernadero es de: $A = R^2 * \pi$

$$A = 150^2 * \pi = 70650 \text{ m}^2$$

La irradiación solar total en la zona de invernadero es de:

$$Rad - i = 70650 * 1000 = 70650000 \text{ W (71Mw)}$$

En el caso de la Torre JVR, la energía del invernadero **se va acumulando en fluidos** que la circundan y acumuladores cerámicos durante las horas de sol, ya que no se usa para generar ningún tipo de energía secundaria que transmita la que se recibe, por ello la instalación acumularía energía durante las horas diurnas. En un día de 10 horas efectivas de energía solar:

$$Rad-i = \pi * 300^2 / 4 * 1000 * 10 = 707 \text{ Mw}$$

Por lo que tendremos 706,685 megavatios para ser usados durante las horas nocturnas para generar diferentes energías posibles.

La radiación total de los helióstatos que enfocará al interior de la torre a una altura aproximada de 4 metros desde su base y a 8m del suelo o firme, y a través de una pantalla transparente, es de:

$$\text{Rad} = 624 * 120 * 1000W = 74,880 (75) \text{ mW}$$

El rendimiento global diurno es de: $n = Er/71$

$$n = 20/75 = 0.26\%$$

Con el invernadero en nocturno: 0.28%

La superficie de entrada y salida de la torre o área del interior de la torre es de un radio de 30m por lo que su área o salida es: $Sc = \pi * r^2$

Área interior de la torre: $Sc = \pi * 30^2 = 2826 \text{ m}^2$

La corriente de aire, como energía cinética que circula por el interior de la torre, es la potencia disponible para ser convertida en corriente eléctrica:

$$Fl = \frac{Rad}{n}$$

$$\text{Flujo} = \frac{75}{0.26} = 28.8 \text{ Mw (29Mw)}$$

La velocidad dentro de la torre sería de: $Vt = (2 * Fl) / (\rho * \pi * r^2)^{1/3}$

$$\text{Velocidad de la torre: } Vt = \sqrt[3]{(2 * 29 / (1.225 * \pi * 30^2))} = 26 \text{ ms}$$

Con un flujo total del aire de: $Fm = \rho * Sc * Vt$

$$Fm = 1.225 * 2826 * 26 = 90008 \text{ kg/s}$$

Área de entrada inferior $As = \pi * 60 * 4 = 754 \text{ m}^2$
(60, diámetro; 4 altura de la embocadura)

Velocidad en el área de entrada inferior de la torre: $Vbt = Fm * b * As$
 $VbT = 90008 / (1.225 * 754) = 55 \text{ m/s}$

Ante ello y para al fin obtener un resultado de la posible energía que pudiera dar, mediante los generadores, evaluando el máximo de Betz del 59%, , aún cuando ya hemos devaluado el flujo de los 75 W reales de insolación por medio de los helióstatos, dividiéndolo por 0.26 que creemos sería el porcentaje aprovechable del flujo, sea que nos limitaremos al flujo del interior de la torre con su área interior de la torre de 2826m² y con la velocidad resultante de Vt de 26 ms. Y descontaremos el 41%. Por lo que **la energía resultante para eólica** es:

$$E = \frac{1}{2} * b * \pi * A^2 * Vt^3 * 59 / 100$$

$$E = \frac{1}{2} * 1.225 * \pi * 30^2 * 26^3 * 59 / 100 = 18400000 \text{ w (18.4 MW)}$$

Por ello la potencia eléctrica de la torre JVR podría alcanzar fácilmente los 18 Mw.

Coste de MW con energía fotovoltaica: 6.000.000 el Mw, aproximadamente.

Resultado Torre de Aldea del Fresno: 300 millones de euros / 50 Mw = a 6.000.000 euros el Mw, aproximadamente

Resultado de la torre con Helióstatos en la que se utiliza el vapor: 32 millones de euros / 11 Mw = 2.909.090 de euros el Mw. Aproximadamente.

Resultado de JVR 20 millones: 18.4 = 1.086.000 euros el Mw. Aproximadamente (Contando que se ha de deducir de esos 1.086.000 la energía que prestaría en las horas nocturnas ya que está incluida en total del presupuesto).

De ello se desprende que la torre JVR, es rentable a la vista de todas las otras alternativas, **teniendo en cuenta que utilizando una turbina de gas**, en vez de la eólica, podría muy bien conseguir metas de energía muy superiores. Y eso sin añadir que por la noche tiene un rendimiento similar al diurno. Esto disminuye mucho más el valor del Mw en la inversión en comparación a otras.

No obstante, espero que en breve, tras terminar los resultados de los cálculos con turbina de gas, de realizar los cálculos con una turbina de gas, en los que podremos apreciar las enormes mejoras que aportan este tipo de sistemas como la Torre Solar JVR, los cuales estarán pronto a vuestra disposición.