

Análisis comparativo de costo-efectividad entre estrategias pasivas y activas para la eficiencia energética en bodegas

Passive and active strategies cost-effectiveness comparative analysis for energy efficiency in wineries

Ramos Sanz, Alba I.

Alba I. Ramos Sanz

aramossanz@faud.unsj.edu.ar

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina

ARQUITECNO

Universidad Nacional del Nordeste, Argentina

ISSN: 0328-0896

ISSN-e: 2668-3988

Periodicidad: Semestral

núm. 20, 2022

arquitecno202@gmail.com

Recepción: 01 Agosto 2022

Aprobación: 25 Octubre 2022

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/674/6743586002/>

DOI: <https://doi.org/10.30972/arq.0206258>

Resumen: Se lleva a cabo una investigación cuali-cuantitativa a partir de un Estudio de Casos de una bodega con el objetivo de comparar el costo efectividad de estrategias pasivas y activas para su eficiencia energética. Al análisis comparativo entre los cuatro niveles simulados de intervenciones pasivas, se incorporan los resultados obtenidos para la estrategia activa, en dos niveles de experimentación. Se construyen las tasas de descuento para el flujo económico y financiero para un horizonte de 25 años, enmarcados en el contexto macro-económico y energético local. Los resultados proporcionan: (1) la economía energética entre estrategias activas y pasivas aplicadas al caso; y (2) la estrategia económica-energética óptima para el caso analizado, entre todas las estrategias y niveles considerados.

Palabras clave: eficiencia energética, estrategia activa, estrategia pasiva, análisis de los costos.

Abstract: A quali-cuantitative research is carried out based on a Case Study of a winery with the objective of comparing the cost effectiveness of passive and active strategies for their energy efficiency. To the comparative analysis between the four simulated levels of passive interventions, the results obtained for the active strategy are incorporated, at two levels of experimentation. The discount rates for the economic and financial flow are constructed for a horizon of 25 years, framed in the local macroeconomic and energy context. The results provide: (1) the energy economy between active and passive strategies applied to the case; and (2) the economic-energy optimal strategy in for the analyzed case, among all the strategies and levels considered.

Keywords: energy efficiency, active strategy, passive strategy, life cycle cost analysis.

INTRODUCCIÓN

En Argentina el 93% de la Oferta Total de Energía Primaria (OTEP, MINEM; 2019) es producida con recursos propios, la fuente primaria más utilizada es el gas natural, siendo el quinto país de América Latina con mayor disponibilidad de este recurso (OPEC; 2017). El 45% de la oferta de energía secundaria nacional se compone de gas distribuido. A pesar de la constitución de su Matriz Energética, la Argentina se ubica

(IEA; 2020) entre los países con menores emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), alcanzando los 4,10 tnCO₂eq/pers* año, en línea con la media mundial. El Factor de Emisión para consumo, en base a la Matriz Energética Nacional (2010), se estima en 0,38 tnCO₂eq/MWh (Ministerio de Desarrollo Productivo; 2020). Desde el año 2016 se implementan políticas de quita de subsidios a los servicios, forzando el cierre de al menos 7500 pequeñas y medianas empresas (PyMEs) hasta el año 2018 (Kestelboim. M; 2018). Hasta dicha fecha, la variación porcentual acumulada en el incremento de los costos energéticos en pesos argentinos (AR \$; 1555%) supera la misma en dólares estadounidenses (USD\$; 512%; Ramos Sanz, A; 2020). Las estrategias que atienden a reducir la demanda energética en la industria, marcada por costos energéticos que alcanzan entre un 20 y un 50% de los costos de producción, (Revista Petroquímica; 2018) se encuentran limitadas a un contexto económico nacional desgastado. Entre las industrias regionales, los edificios destinados a la vinificación como lo son las bodegas de elaboración y de conservación del vino, pueden requerir hasta un 70% de su demanda energética en control térmico de los procesos de vinificación (Ramos Sanz, A; 2017). En este sentido, el desempeño de la envolvente construida tiene un papel relevante en la eficiencia energética de las bodegas. Algunas investigaciones demuestran el impacto de la optimización de la envolvente de edificios industriales (Barbaressi, A; Bovo, M; Torreggiani, D; 2020). Otra estrategia para reducir los costos energéticos en el sector industrial de bodegas la constituye la generación de energía solar (Perdigones, A; et al; 2021). Por otro lado, diagnósticos energéticos realizados en San Juan en el marco del Programa de Eficiencia Energética del Consejo Federal de Inversiones a bodegas de elaboración y conservación en el año 2020-2021, proponen usualmente la incorporación de generadores fotovoltaicos como mejora, basándose en la magnitud del recurso solar que caracteriza la zona. Las investigaciones en optimización energética de la envolvente tienden a incorporar variables económicas en sus análisis: la metodología del *Life Cycle Cost* (LCC) propone un análisis más aproximado a la realidad de las inversiones en edificios sustentables, impulsando análisis enmarcado en contextos económicos reales, mediante el empleo de la función del Valor Presente Neto (VAN o VPN). Sin estas aproximaciones, las optimizaciones en eficiencia energética se alejan de su materialización en la realidad, dado que es la variable económica la variable común de decisión en cuanto a inversiones se refiere.

METODOLOGÍA

Como objetivo de investigación, se espera representar la realidad económico-energética de la aplicación de las estrategias activas frente a estrategias pasivas para la reducción de la demanda energética en una bodega de fermentación y conservación del vino. La metodología responde a una investigación de tipo cualitativa; se aborda un Estudio de Caso de tipo experimental, en el cual se utiliza la simulación como herramienta de experimentación. Se realiza un estudio comparativo de mejoras en eficiencia energética en la bodega, mediante estrategias pasivas y estrategias activas posibles. Para ello se comparan las variables económicas -costos y tarifas de energía eléctrica, impuestos, etc.- y energéticas -cargas térmicas anuales- entre estrategias pasivas y activas, cuya finalidad persigue demostrar la conveniencia de las optimizaciones en materia de eficiencia energética, tanto desde el enfoque del ahorro energético como desde el enfoque económico. El caso relevado consiste en un edificio de tipo industrial definido como bodega de fermentación y conservación de vinos, ubicado en la Provincia de San Juan, República Argentina. Esta tipología es adecuada a los objetivos del estudio dado que generalmente estos establecimientos son de propiedad privada, empresas en las cuales entre los directivos es práctica común considerar las variables económicas como variables de decisión. La investigación implica la recogida de datos de la bodega y de la demanda energética de las instalaciones de vinificación a fin de detectar los elementos críticos de la envolvente, mediante un modelo matemático en régimen estacionario, con el cual se determinan los coeficientes de transmitancia térmica K o U de los diferentes elementos constructivos. Una vez detectados los mismos se procede a implementar la estrategia pasiva en cuatro niveles: estos niveles implican variaciones progresivas en la capa de aislación adicional. El

interés en hallar soluciones a las demandas energéticas de las construcciones se observa en la promoción de softwares de simulación dinámica entre la comunidad científica (Costanzo, V. et al, 2018; Ferrara, M. et al; 2019). En la actualidad existe una amplia gama de softwares para la simulación energética de los edificios. Para el presente trabajo, el modelo se crea mediante el empleo de *Energy Plus* y de *Euclid*, el Plug-in de *Sketch Up*. *Energy Plus* 8.2 (US Department of Energy; 2013) es un software libre ampliamente utilizado en análisis técnicos e investigaciones científicas. En particular para la simulación energética de bodegas, puede consultarse el trabajo de Barbaressi et al (2016). La herramienta *Energy Plus* se emplea para obtener 8760 horas de simulación de la envolvente de bodega, con el termostato en 18°C. Los resultados obtenidos indican las cargas térmicas base del modelo de referencia y las cargas térmicas reducidas a partir de las optimizaciones pasivas de la envolvente en los cuatro niveles mencionados. Para la estrategia activa, el análisis implica una estimación de los costos en base a valores de referencia. La estrategia se analiza en dos niveles; uno a carga mínima es decir supliendo la misma carga térmica reducida mediante la estrategia pasiva, mientras que el otro nivel comprende el potencial total de generación de energía solar fotovoltaica, con un destino adicional al uso en bodega. Para el análisis económico, se estiman el precio de la energía actual y proyectado, los costos de ejecución de las estrategias pasivas y activas señaladas: la inversión inicial (I_0 ; USD\$) y los ingresos anuales en concepto de ahorro en la tarifa de energía eléctrica. Los costos de los materiales se obtienen de la consulta a páginas de *e-commerce* y los costos de mano de obra respetan la relación que suelen conservar en la práctica, los cuales comprenden el 100% del costo de los materiales. Para el análisis de rentabilidad, se calculan las tasas de descuento mediante las metodologías del Coste Medio Ponderado de Capital (WACC, sus siglas en inglés) y el Modelo de Valoración de Activos Financieros (CAPM, sus siglas en inglés). Se consideran dos tipos de flujos de fondo: el flujo de fondos económico (FFE) o proyecto puro para el cual se emplea la tasa K_e , y el flujo de fondos financiero (FFF) para el cual se aplica la tasa obtenida mediante el WACC. El FFE es un procedimiento de análisis económico de la inversión cuando la misma no se halla respaldada por un crédito o una deuda emitida por la empresa y no se contempla la inversión de capital propio. Este es el análisis del proyecto económico de manera que solo interviene lo que requiere el mismo y lo que produce en consecuencia. El FFF conserva el enfoque de financiamiento mediante capital propio y/o externo; contempla el supuesto -en este caso- de un 50% de endeudamiento mediante crédito bancario a una Tasa Efectiva Anual (TEA; 2018) del 48% en ARS\$, amortizado trimestralmente con el Sistema Francés. El valor del período de descuento n para la inversión es de 25 años, dada la vida útil de ambas estrategias pasiva y activa. Los denominados *ingresos del proyecto* consisten en el costo ahorrado en energía eléctrica. En este proyecto no se contemplan como ingresos la venta de la energía solar fotovoltaica a la empresa distribuidora de energía, dada la falta de regulación local al respecto.

Presentación del caso

El predio contiene una serie de instalaciones además de la bodega, tales como galpones de empaque, frigoríficos y extensas superficies cultivadas con viñedos. Se realiza un relevamiento para determinar las características de la empresa, las envolventes industriales y la potencia de los equipos existentes en la bodega y el predio. La envolvente de la bodega presenta 855 m² de superficie cubierta, 976 m² de muros exteriores, 23 m² de ventanas y 80m² de portones metálicos.

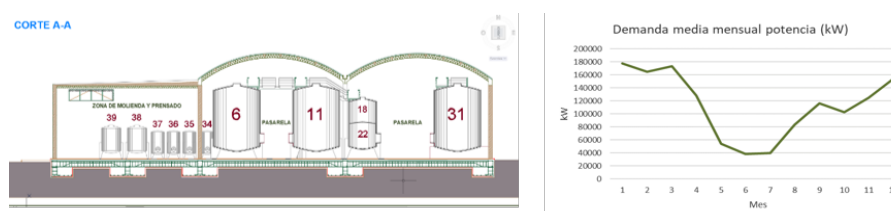


FIGURA 1

Sección A-A de las instalaciones de vinificación del caso de estudio y perfil de demanda de potencia (kW) del predio en el cual se encuentra el caso de estudio, en el período de un año

La bodega encierra 3.840 m³ de volumen de aire y una producción que se estima en los 755.900 litros de vino por año. La actividad presenta un comportamiento energético estacional, con fuerte incremento de la demanda de potencia (Figura 1) entre los meses de diciembre y hasta marzo. La demanda de potencia media mensual alcanza un promedio de 100.000 kW, para lo cual la empresa dispone de 200.000 kW de potencia contratada a la distribuidora de energía, en concepto de cargo fijo. La demanda anual de energía se estima en los 3.500.000 kWh, para abastecer a todos los predios e instalaciones de la empresa, dado que es éste el único recurso energético utilizado. Los procesos de vinificación se llevan a cabo en el interior de un galpón construido con muros de mampostería y estructura encadenada de hormigón armado, cubierta de chapa metálica con aislación térmica interior con lana de vidrio y carpinterías de metal. En el interior del galpón se almacenan los tachos de vinificación, los cuales se hallan alimentados por un sistema central de control térmico del mosto/vino, cuya temperatura de procesos puede variar. El control térmico es relevante durante todo el año; en la estación cálida es mayor su relevancia dado que la fermentación es un proceso exotérmico y genera calor que se hace necesario liberar de manera continuada. La fermentación puede extenderse tres meses del año -febrero a abril- mientras que a lo largo del año la bodega continúa siendo utilizada para la conservación de los vinos terminados. La Figura 1 refleja el funcionamiento en el predio a lo largo del año, período en el cual además de las actividades llevadas a cabo en la bodega, se mantienen activas las bombas de riego presurizado. La bodega se encuentra en la Provincia de San Juan, en la zona Bioclimática IIIa; el entorno en el cual se halla se caracteriza por su aridez y amplitud térmica, alcanzando en verano temperaturas máximas promedio de 33.1°C (Normas IRAM 11603). La superficie de la Provincia de San Juan, se encuentra atravesada por cuatro Isolíneas de Irradiación Solar Global diaria sobre plano horizontal, que van en promedio desde 7.5 kWh/m² hasta 6.5 kWh/m² para el mes de enero y entre 3 kWh/m² y 2.5 kWh/m² en el mes de junio (Grossi Gallegos, H; Righini, R; 2007; Secretaría de Gobierno de Energía; 2019). Estas áreas indican una heliofanía efectiva de entre 8 y 9 horas diarias en el mes de enero y de entre 4 y 6 horas diarias de sol en el mes de junio. El recurso solar disponible llega a la superficie terrestre y la eficacia de su captación se halla en función de la perpendicularidad de los rayos solares respecto del plano de la celda fotovoltaica. Para facilitar la lectura del recurso solar, se estima que, sobre plano horizontal, en los meses de verano se disponen de 7.5 HSP y en invierno de 3 HSP.

Precio de la energía: Históricamente desde la crisis energética, los precios de la energía se incrementan año a año: en consecuencia, estos precios se consideran variables crecientes a lo largo de los períodos considerados en el horizonte temporal de análisis de las inversiones. Se estima que los mismos se incrementan año a año en un 10% de su valor en USD\$. Esta tasa de crecimiento son estimaciones medias a partir de observaciones simples sobre el crecimiento del precio de la energía en los últimos años. El precio de la energía considerado en el presente trabajo responde al siguiente modelo empírico:

$$\text{Tarifa mes USD\$} = [\text{kWh Consumidos} \cdot (\text{USD\$ kWh}) \cdot (1 + \text{Impuestos})] + \text{Otros}$$

Para cada año futuro; $\text{Tarifa mes USD\$} = [[\text{kWh Consumidos} \cdot 0,045] + \text{Otros}] \cdot 1.10$. Para la generación de energía solar los costos se obtienen por referencia del mercado local: considerando las auditorías energéticas

realizadas en 2019 a instalaciones similares en la Provincia de San Juan el costo medio de generación de energía solar fotovoltaica por unidad de potencia (kW) es de USD\$ 900.

Indicadores de Rentabilidad: Entre los indicadores más conocidos se encuentran el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR). El primero de ellos representa la generación de riqueza de una inversión en términos nominales, mientras que el segundo explica la naturaleza de los flujos financieros en términos relativos. Ambos indicadores se hallan ligados a una tasa de descuento (r) y a un período definido (n).

$$VAN = I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{BN_t}{(1+r)^n}$$

En donde I_0 es la Inversión inicial que requiere el proyecto, BN son los beneficios netos del período y r es la tasa de interés o costo de oportunidad, elevada a n períodos considerados. La TIR es, por definición, la tasa que hace que VAN sea igual a cero. Tanto el VAN como la TIR se hallan vinculados a un valor definido como la tasa de interés r . En algunas valuaciones simplificadas, se utiliza r como la tasa de política monetaria o de un crédito bancario (en sus siglas TNA o TEA). En valuaciones más precisas la tasa se estima en función de la naturaleza de la inversión, del riesgo de mercado en el cual invierte el interesado y de otros factores que influyen directamente a una inversión, como el Riesgo País.

Tasa de Descuento: El valor de la tasa de descuento a la cual se llamará en este caso K_e se obtiene mediante la metodología del Modelo de Valoración de Activos Financieros o *Capital Assets Pricing Model* (CAPM; Gitman, L; Zutter, C; 2012).

$$K_e(USD\$) = K_f + \beta(K_m - K_f) = 17,34\%$$

El desarrollo del procedimiento para obtener la tasa K_e es objetivo de un extenso trabajo, por lo cual no se explayará sobre este tema en particular. Para mayor detalle consultar el trabajo de (Ramos Sanz, A; 2020). Suponiendo que el proyecto de inversión se respaldara mediante un crédito, la tasa de descuento K_e se emplea para determinar la tasa de financiamiento con la metodología del Costo de Capital Promedio Ponderado o *Weighted Average Cost of Capital* (WACC, sus siglas en inglés; Dumrauf; G; 2003);

$$WACC = W_d * K_d(1 - t) + W_e * K_e = 26.80\%$$

Es importante aclarar que las tasas de descuento obtenidas mediante las metodologías del CAPM y el WACC se desarrollan exclusivamente para el caso de estudio en el contexto nacional, para una empresa agro-exportadora inserta en el mercado de la producción de uvas, vinos y pasas. De esta manera las tasas de descuento no pueden replicarse en proyectos diferentes, para empresas que se encuentren en otro sector o bien que se relacionen de manera distinta con los mercados locales e internacionales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se emplea el modelo matemático determinístico en régimen estacionario para estimar el coeficiente de transmitancia térmica K o U de los diversos elementos constructivos. Interesa conocer los siguientes indicadores y la carga total;

$$R = e/\lambda$$

$$K = 1/R$$

$$Q = K \cdot \text{Área} \cdot \Delta T$$

Los resultados obtenidos mediante el modelo matemático en régimen estacionario definido en el apartado anterior, permiten una rápida comprensión sobre el desempeño de los elementos constructivos de la envolvente de la bodega frente a las condiciones climáticas exteriores y a los requerimientos de temperatura de conservación del vino. Entre los elementos de mayor superficie, la resistencia térmica proviene del elemento techo es superior, siendo los muros los elementos de menor resistencia térmica.

TABLA 1

Datos de transmitancia térmica K de los elementos que constituyen la envolvente edilicia de la bodega

Componente	K-EP no film (W/m ² °C)	K-EP with film (W/m ² °C)	K-propios no film (W/m ² °C)	A (m ²)	K·A (W/ °C)	K·A·ΔT (W)	W (%)
Muros Ext.	3.80	2.42	3.86	976.00	3708	29664	61
Piso	13.58	4.24	9.88	855.00	8447	8447	17
Ventanas	5.89	5.89	3.85	23.00	135	1080	2
Puertas	6.68	6.68	3.98	80.00	535	4280	9
Techo	0.74	0.67	0.67	855.00	633	5064	11
TOTAL	12.83	19.90	12.60	2789.00	13458	48535	100

Para la simulación en régimen variable se emplea el programa *Sketch Up*, aplicando la extensión *Euclid*. Se elabora el modelo base de bodega en tres dimensiones, dentro de *una sola zona térmica*, dado que el galpón industrial se encuentra comunicado en todos sus ambientes y dispone de un único sistema de control térmico centralizado. Los datos climáticos de entrada utilizados para la simulación dinámica corresponden a valores promediados para un año típico en un punto localizado en -31.4° de Latitud y -68.4° de Longitud, a 598 m sobre el nivel del mar. En el programa *Energy Plus* se ubica el termostato en los 18°C a lo largo del año, así como el Schedule Conservación señala esa misma temperatura. El modelo base se modifica desde *Energy Plus*. Para validar los datos de entrada utilizados por el software se comparan los resultados de los valores de transmitancia térmica U o K, obtenidos mediante simulación energética y mediante cálculos matemáticos propios. Puede observarse que los valores de transmitancia térmica obtenida mediante cálculos matemáticos propios y los obtenidos mediante la herramienta de simulación presentan proximidad en la condición *no film*, en la cual las conductancias superficiales exteriores se consideran despreciables. Se destaca que los valores de U son aproximados en el caso de los elementos muros exteriores y techo. En el caso del piso en contacto con el terreno natural, algunos autores sugieren considerar este elemento como adiabático, dado que el método de la transmitancia térmica no se ajusta completamente a su situación al tratarse de un componente en contacto con otro sólido semi-infinito, que es el terreno. Los resultados de la simulación dinámica del caso base, señalan una demanda energética estimada en 47.463 kWh/año para un período anual de 8.760 horas. Se estima que la mayor precisión en la optimización termo energética de los elementos constructivos de la

bodega provendría de los componentes muros exteriores y techo (Tabla 1). El relevamiento del caso señala además que la cubierta de techo de la bodega de conservación se encuentra adecuadamente aislada con lana de vidrio. Asimismo, estimando que la segunda mayor superficie de envolvente en la bodega la constituyen los muros exteriores (976m^2) y que estos no se encuentran térmicamente aislados, se procede a proponer optimizaciones para dichos elementos constructivos. La optimización parte de la simulación dinámica de la bodega de conservación de vinos como caso base o de referencia, luego se cargan las propiedades térmicas del material poliestireno expandido en *Material: No Mass* y se edita el elemento *muros exteriores* en la pestaña *Construction*. Con estos *inputs* es posible proceder a la simulación dinámica de las optimizaciones pasivas del componente.

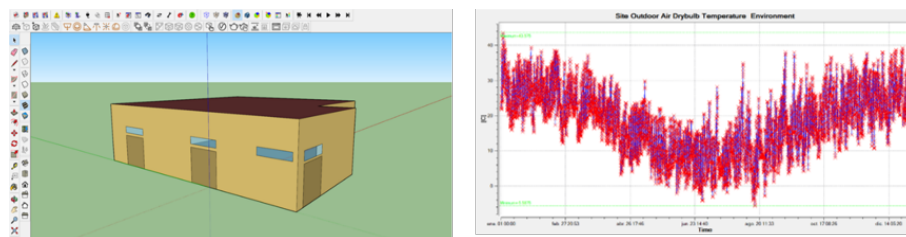


FIGURA1

Resultados de 8760 horas de simulación

Temperatura Operativa interior del modelo base de la envolvente de bodega de conservación, a partir de los datos climáticos de la provincia de San Juan. Modelo en 3D de la zona térmica de bodega mediante la extensión Euclid en Sketch Up.

Estrategia pasiva

Considerando que el 61% de las cargas de la envolvente de la bodega proviene de la conducción térmica a través del elemento muro, se propone la incorporación de capas de planchas de poliestireno expandido, aplicadas por el lado exterior de los muros, fijado a la estructura mediante una malla metálica de 0.006 m, la cual es cubierta con revoque cementicio de 0.025 m de espesor. Los costos de mano de obra se conservan al 100% de los costos de la instalación de aislante térmico dado que a pesar de que el número de planchas pueda aumentar, la tarea de instalación es similar y este ítem es constante para N1, N2, N3 y N4, ya que no implica modificaciones estructurales. Para la experimentación, se simula la medida en niveles, marcados por la variación progresiva del espesor del aislante:

1. Nivel 1 (N1-0.02): Adición de capa de 0.02 m de espesor de poliestireno expandido
2. Nivel 2 (N2-0.04): Adición de capa de 0.04 m de espesor de poliestireno expandido
3. Nivel 3 (N3-0.06): Adición de capa de 0.06 m de espesor de poliestireno expandido
4. Nivel 4 (N4-0.08): Adición de capa de 0.08 m de espesor de poliuretano expandido

Al igual que para el caso base o de referencia, la simulación dinámica comprende un período anual, el cual alcanza las 8.760 horas (Fig.2). La Tabla 2 integra la resistencia térmica y propiedades de los materiales empleados en la mejora de la envolvente construida, la energía eléctrica demandada y ahorrada por año y la inversión inicial (I0) para realizar la mejora sobre la envolvente y la tarifa anual de energía eléctrica que se abona en concepto de la mejora realizada.

Esta información se enmarca en tres variables: envolvente, energía y economía. Para el caso de la envolvente, puede observarse el incremento de la resistencia térmica del muro a medida que aumentan los niveles de experimentación. En la misma dirección, la demanda energética disminuye hasta menos de la mitad. Las diferencias entre los ahorros energéticos obtenidos entre los 4 niveles de experimentación no supera una dispersión del 14%, pero los costos de inversión varían significativamente en la medida que se adicionan capas de aislación térmica. La tarifa anual consigue reducirse en más de la mitad de su costo, alcanzando ahorros cercanos al 60% en el nivel 4.

TABLA 2

Cuadro comparativo de resultados económico-energéticos obtenidos para cuatro niveles de Estrategia Pasiva aplicada sobre la envolvente muros exteriores.

Variables		Base	Estrategia Pasiva			
			N1-0.02	N2-0.04	N3-0.06	N4-0.08
Envolvente	ρ [kg/m ³]	-	20	20	20	20
	e [m]	-	0.02	0.04	0.06	0.08
	λ [W/mK]	-	0.05	0.05	0.05	0.05
	R [m ² K/W]	0.26	0.70	1.15	1.59	2.04
Energía	Demanda [KWh/año]	47.463	28.533	24.832	23.004	21.910
	Ahorro [kWh/año]	-	18.930	22.631	24.459	25.553
	Δ Referencia [%]	-	40%	48%	52%	54%
Economía	Inversión Inicial [I_0 , USD\$]	-	-\$4.205	-\$6.342	-\$8.479	-\$10.615
	Tarifa Año1 [USD\$]	-\$2.136	-\$1.284	-\$1.117	-\$1.035	-\$986

Estrategia activa

En este caso se realizan dos supuestos para cada nivel (Tabla 3): (N1) se estima que la *carga térmica mínima ahorrada* mediante la estrategia pasiva (18.930 kWh/año) será provista mediante generación de energía solar fotovoltaica. El segundo supuesto para el nivel dos (N2) contempla el aprovechamiento del 100% de la energía solar, pero con un destino diferente al del suministro de la carga térmica, sino que se utiliza en el sistema de riego del predio. Este segundo supuesto tiene por finalidad observar la variación de los indicadores económicos cuando la estrategia activa se aprovecha al máximo de su potencial.

1. *En el primer supuesto* (N1-PV) en función de la carga térmica mínima ahorrada en la optimización de la envolvente de bodega (18.930 kWh/año), y estimando el costo medio de generación fotovoltaica de una unidad de potencia (kW) es de USD\$ 900, para suplir los 27 kW de potencia del equipo de control térmico de la bodega, se requiere una inversión inicial USD\$ 24.300. Esta inversión incluye además de los paneles, un inversor.

Para cubrir una demanda energética de 18.930 kWh a una potencia de 27 kW, se requieren 700 horas de producción de energía solar. Como se menciona en apartados previos, la ubicación geográfica de San Juan dispone de 7.5 HSP en verano, con lo cual el sistema de frío puede funcionar durante casi un tercio de las horas y por tres meses, alimentado con este recurso.

TABLA 3

Cuadro comparativo de resultados económico-energéticos obtenidos para dos niveles de la Estrategia Activa.

Variables		Base	Estrategia Activa	
			N1-PV	N2-PV ₁₀₀
Energía	Demanda [KWh/año]	47.463	-	-
	Ahorro [kWh/año]	-	18.930	38.435
	Δ Referencia [%]	-	40%	80%
Economía	Inversión Inicial [USD\$]	-	-\$24.300	-\$24.300
	Tarifa Año 1 [USD\$]	-\$2.136	-\$1.284	-\$406

Esta estrategia permite no solo suplir la energía térmica que demandan los procesos que suceden estacionalmente en la bodega, como lo es el control térmico del vino en verano, sino que continúa generando

energía solar en los demás meses del año. En San Juan se registran en promedio anual 5.2 HSP, es decir que como media existen 1.898 HSP útiles acumuladas en 365 días.

2. *El segundo supuesto* (N2-PV100) considera un uso pleno de la energía solar fotovoltaica. Si tres meses -474,5 HSP acumuladas- se requieren para suplir el sistema de frío de la bodega, entonces es factible destinar las restantes 1.423,5 HSP acumuladas, hacia otros destinos como pueden ser el funcionamiento de las bombas de riego. Estos equipos disponen de una potencia similar a la de los paneles fotovoltaicos (rangos entre 22 y 29 kW), con lo cual se proveería -27 kW·1.423,5 HSP- de 38.435 kWh de energía solar promedio para riego. En este sentido, el ahorro anual medio estimado que se adiciona a los retornos por parte de la estrategia activa es de entre USD\$ 1.000 y 1.340, unos USD\$ 1.170 promedio anual.

La estrategia activa demanda la misma inversión para los dos niveles de estimación considerados. En el segundo nivel, la estrategia activa es más efectiva, alcanzando el 80% de ahorro tanto energético como económico.

SINTESIS COMPARATIVA

En la Tabla 4 se resumen los resultados obtenidos y se adiciona los resultados del análisis de rentabilidad financiera en el marco del flujo de fondos económico (FFE). Hasta este apartado se había destacado la efectividad de las estrategias pasivas y activas en el ahorro energético obtenido. En esta instancia se procede a valorar los indicadores de rentabilidad económica, VANE y TIRE, cuya regla de decisión es $VANE > 0$ y $TIRE > K_c$. Puede observarse que tanto las estrategias pasivas como activas conducen a ahorros energéticos superiores al 40% de la demanda energética anual de la bodega. Sin embargo, el límite superior que alcanzan las optimizaciones energéticas mediante estrategias pasivas (54%) son muy inferiores a las que se puede alcanzar con estrategias activas (80%). Los costos de inversión (I_0) entre estrategias pasivas y activas son significativamente diferentes; la estrategia activa tanto para N1 como para N2, requiere el doble de capital que la estrategia pasiva más costosa (N4). Otra diferencia entre ambos tipos de estrategias es que las estrategias pasivas suelen tener mayor vida útil que las activas, superando en el 63% de los análisis de LCC los 30 años.

TABLA 4
Cuadro comparativo de resultados económico-energéticos y financieros obtenidos para los proyectos económicos (FFE) de la Estrategia Pasiva y Activa, para distintos niveles

Variables		Estrategia					
		Pasiva				Activa	
		N1-0.02	N2-0.04	N3-0.06	N4-0.08	N1-PV	N2-PV ₁₀₀
Energía	Ahorro [kWh/ año]	18.930	22.631	24.459	25.553	18.930	38.435
	Δ Referencia [%]	40%	48%	52%	54%	40%	80%
Economía	Inversión I. [I_0 , USD\$]	-\$4.205	-\$6.342	-\$8.479	-\$10.615	-\$24.300	-\$24.300
	VANE [USD\$]	\$4.325	\$3.664	\$2.098	\$179	-\$18.684	-\$6.126
	TIRE [%; 17,34%]	28%	24%	20%	18%	5%	14%
	Período de Repago [años]	6	7	9	12	81	17

Los sistemas activos tienen una vida útil máxima de 25 años. Para el diseño del flujo de fondos económico y financiero se unificó el horizonte temporal para estrategias pasivas y activas en 25 años. Los indicadores económico-financieros reflejan el hecho de que la estrategia pasiva en cualquiera de sus cuatro niveles es rentable, dado que se cumple $VANE > 0$ y $TIRE > K_c$ (17,34%). Los períodos de recupero simple van desde

los 6 hasta los 12 años, en todos los niveles experimentados. En el caso de la estrategia activa, para cualquiera de sus dos niveles y aun consiguiendo un 80% de ahorro energético, la rentabilidad económica es negativa y el capital invertido podría recuperarse en un período tan largo como 81 años en el caso más desfavorable (N1-PV) y 17 años en el caso de N2-PV₁₀₀.

TABLA 5

Cuadro comparativo de resultados económico-energéticos y financieros obtenidos para los proyectos financieros (FFF) de la Estrategia Pasiva y Activa, para distintos niveles de experimentación.

Variables		Estrategia					
		Pasiva				Activa	
		N1-0.02	N2-0.04	N3-0.06	N4-0.08	N1-PV	N2-PV ₁₀₀
Energía	Ahorro [kWh/ año]	18.930	22.631	24.459	25.553	18.930	38.435
	Δ Referencia [%]	40%	48%	52%	54%	40%	80%
Economía	VANE [USD\$]	\$4.325	\$3.664	\$2.098	\$179	-\$18.684	-\$6.126
	VANF [USD\$]	\$903	-\$171	-\$1.731	\$3.479	-\$18.205	-\$11.471
	TIRE [%; 17,3%]	28%	24%	20%	18%	5%	14%
	TIRF [%; 26,8%]	32%	26%	22%	19%	6%	15%

En ocasiones, cuando los indicadores de rentabilidad no se alejan demasiado de las tasas de corte (K_e o WACC), pueden mejorarse mediante el empleo de recursos externos provenientes de un crédito. En la siguiente Tabla 5 se resumen los resultados obtenidos y se adiciona los resultados del análisis de rentabilidad financiera en el marco del flujo de fondos financiero (FFF). Anteriormente se destacó que los cuatro niveles de experimentación de la estrategia pasiva entregaron rentabilidades positivas, siendo cualquiera de ellas conveniente para la inversión en optimización energética. Dada la regla de decisión para el esquema de financiamiento externo parcial $VANF > 0$ y $TIRF > WACC$ (26,8%), los resultados se tornan negativos en todos sus niveles excepto N1. En este nivel, la rentabilidad mejora un 4% anual en dólares, pero el valor actual neto del proyecto financiero (VANF) se reduce en menos de una cuarta parte del valor actual neto del proyecto económico (VANE). Cabe mencionar que, en la realidad, algunas veces el crédito se invierte en el proyecto y ese capital propio que se deja de invertir, se coloca en otros instrumentos financieros que generan un ingreso periódico superior a la tasa WACC. Esta variable si bien en este trabajo no se considera en los FFF, se menciona a fin de resaltar que no se contemplan este tipo de ingresos potenciales al proyecto financiero, que generalmente mejoran el FFF y su VANF. El empleo de financiamiento externo no conduce a mejorar los indicadores de rentabilidad del proyecto económico, sino que los empeora en todos los casos. Esto responde al escenario macro-económico de la Argentina (2018-2019), en el cual las condiciones crediticias gobernadas por altas tasas de interés nominal (48%), y al corto período de devolución (5 años) del crédito y a un sistema de amortización del préstamo, cuya cuota trimestral permanece constante a lo largo de los cinco años. Luego de esos cinco años -cuando se devuelve el crédito por completo- los FFF señalan ingresos positivos al proyecto económico, pero no son suficientes debido a su magnitud en dólares y al momento n (año 6) en que comienzan a aportar flujos positivos al proyecto financiero.

CONCLUSIONES

Los resultados indican la preponderancia económica de la estrategia pasiva aislación térmica de muros exteriores de la bodega en todos los niveles de experimentación, por sobre la estrategia activa de generación

de energía solar fotovoltaica. En el caso de la estrategia activa los indicadores energéticos señalan que el ahorro mejora con cada nivel superior de experimentación, pero que puede superarse ampliamente con la estrategia activa N2-PV₁₀₀. La inversión inicial para la estrategia activa en sus dos niveles supera el doble del capital requerido para la estrategia pasiva N1, pero en el caso de la estrategia activa N2-PV₁₀₀ la cobertura de la demanda energética es superior. Resulta complejo tomar una determinación; la estrategia activa es preferible desde el enfoque energético, pero no lo es desde el enfoque económico si nos basamos tanto en la inversión inicial requerida como en el flujo de fondos económico para un horizonte temporal de 25 años. De esta manera y considerando el enfoque económico la estrategia pasiva N1 cumple con las reglas de decisión económica-financiera y en general también los demás niveles de la estrategia pasiva son opciones rentables. Respecto de la variable tiempo se unificó un horizonte temporal de 25 años a efectos comparativos tanto para la estrategia activa como pasiva. Desde este enfoque, contemplando el período de repago simple, la estrategia pasiva en tres de sus cuatro niveles, proporciona un recupero de la inversión en un plazo menor a 10 años. Comparando la estrategia activa N1-PV y la pasiva N1, ambas con el mismo ahorro energético (18.930 kWh/año), para recuperar la inversión en el primer caso se requieren 81 años, mientras que en el segundo caso se demandan 6 años. Si se optimiza la estrategia activa a través de N2-PV₁₀₀, el período de recupero se reduce a 14 años. Contextualizando estos años en la vida útil de las tecnologías que se analizan se observa que un panel fotovoltaico tiene 25 años de vida útil frente a más de 30 años -50, a veces 80 años- que tiene una edificación. En el caso de la estrategia activa N2-PV₁₀₀, cuando se recupera la inversión, restan 9 años de su vida útil antes de su liquidación final, mientras que en el caso de la estrategia pasiva N1, cuando la inversión se recupera, pueden quedar más de 30 años de vida útil durante la cual proveerá ahorros energéticos moderados. El análisis comparativo no alteraría sus resultados si estimáramos tasas de descuento distintas o si estimáramos tarifas de energía eléctrica más caras. Podríamos observar resultados económicos distintos en caso que disminuyera la inversión inicial requerida por la estrategia activa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barbaressi, A.; Dallacassa, F.; Teorreggiani, D.; Tassinari, P. (2016) Retrofit interventions in non-conditioned rooms: calibration of an assessment method on a farm winery. *Journal of Building Performance Simulation*, pp. 91-104. <https://doi.org/10.1080/19401493.2016.1141994>
- Barbaressi, A.; Bovo, M.; Torreggiani, D.; (2020) *The dual influence of the envelope on the thermal performance of conditioned and unconditioned buildings*. *Sustainable Cities and Society* 61:102298. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102298>
- Costanzo, V.; Fabbri, K.; Piraccini, S. (2018) *Stressing the passive behavior of a Passivhaus: An evidence-based scenario analysis for a Mediterranean case study*. *Building and Environment* vol. 142, pp. 265-277. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.06.035>
- Department of Energy (DOE; 2013) *Buildings*. <https://www.energy.gov/eere/buildings/downloads/energyplus-0>
- Dumrauf, G. (2003). *Finanzas Corporativas*. Editorial Grupo Guía S.A.
- Ferrara, M.; Prunotto, F.; Rolfo, A.; Fabrizio, E. (2019) *Energy Demand and Supply Simultaneous Optimization to Design a Nearly Zero-Energy House*. *Applied Sciences* vol. 11. <https://doi.org/10.3390/app9112261>
- Gitman, L.; Zutter, C.; (2012) *Principios de Administración Financiera*. Editorial Pearson.
- Grossi Gallegos, H.; Righini, R. (2007) *Atlas de Energía Solar de la República Argentina*. Editorial SECyT-UN-Dirección Nacional de Proyectos Especiales.
- Instituto Argentino de Normalización (IRAM) 11603. *Clasificación Bioambiental de la República Argentina*. Buenos Aires, Argentina, 1996.
- International Energy Agency (IEA; 2020) *Data and Statistics*. [https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WO](https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=CO2%20emissions&indicator=CO2%20emissions%20by%20energy%20source)

- Kestelboim, M. (2018) *Informe Económico CGERA*. Editorial de la Confederación General Empresaria. <http://www.cge-ra.org/V16/informes-economicos-y-empresarios/>
- Ministerio de Desarrollo Productivo (2020) *Factor de Emisión*. <https://www.argentina.gob.ar/produccion/energia/energia-electrica/estadisticas/informes-estadisticos-del-sector-electrico>
- Ministerio de Energía y Minería de la Nación Argentina (MINEM; 2019). *Datos y Estadísticas*. <https://www.argentina.gob.ar/energia/datos-y-estadisticas>
- Organization of the Petroleum Exporting Countries (OPEC; 2017). *Natural gas proven reserves by country*. <https://www.opec.org/library/Annual%20Statistical%20Bulletin/interactive/current/FileZ/XL/T32.HTM>
- Perdigones, A.; García, I.; Porras-Prieto, C.; Gomez-Villarino, M.; Baptista, F.; García, J. (2021) *Evaluation of the cost-effectiveness of grid-connected photovoltaic solar energy in wineries*. *Ciência e Técnica Vitivinícola*, vol 36, pp. 45-54. <https://doi.org/10.1051/ctv/ctv2021360145>
- Ramos Sanz, A. (2017) *Potencial de Demanda energética cero en envolventes industriales: el caso de la vinificación en zonas de gran amplitud térmica*. *Revista Internacional Hábitat Sustentable*, vol. 7, pp. 40-49. <https://doi.org/10.22320/07190700.2017.07.02.04>
- Ramos Sanz, A. (2020). *Valuación de proyectos de inversión en eficiencia energética en PyMEs. estudio de casos firma VC S.A.* (Tesis de Maestría). Mendoza, Universidad Nacional de Cuyo. Facultad de Ciencias Económicas. <https://bdigital.uncu.edu.ar/17100>. Fecha de consulta del artículo: 03/05/22.
- Revista Petroquímica (2018) *Para cubrir los costos energéticos, las PyMEs deben multiplicar sus ventas por 14*. <https://www.revistapetroquimica.com/para-cubrir-los-costos-energeticos-las-pymes-deben-multiplicar-sus-ventas-por-14/>
- Secretaría de Gobierno de Energía (2019) *Guía del Recurso Solar*. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/guia_del_recurso_solar_anexos_final.pdf