

Construyendo la sostenibilidad energética: integración de energía solar en sistemas electromecánicos para la automatización industrial

Building energy sustainability: integrating solar energy into electromechanical systems for industrial automation

Germanico Sinchiguano Molina

WARTSILA S.A.
<https://orcid.org/0009-0006-8400-6072>
germanicosinm@gmail.com

Cedeño Mendoza Nestor Emilio

Instituto Superior Universitario Central Técnico
<https://orcid.org/0009-0001-2327-8895>
ncedeno@istct.edu.ec

Mario Andrés Coronel Subía

Notaría Primera de Latacunga
<https://orcid.org/0009-0006-6072-7342>
cuikomacs@hotmail.com

Cevallos Culqui Javier Ismael

Investigador independiente
<https://orcid.org/0000-0002-1888-9966>
javiercevallos87@hotmail.com

RESUMEN

La energía solar es un generador de energía que ha tomado impulso en las últimas décadas. La investigación tiene como objetivo analizar el impacto de integrar energía solar en los sistemas industriales automatizados identificando términos de eficiencia, energética, sostenibilidad y reducción de costos operativos. Se empleó una metodología amparada bajo el paradigma positivista de enfoque cuantitativo, descriptivo y exploratorio. La técnica empírica cuantitativa fue la encuesta. El método estadístico fue el análisis factorial confirmatorio. La muestra fue de 50 individuos en tres grupos 10 gerentes, 20 ingenieros y 20 técnicos. Se emplearon tres dimensiones por cada variable de estudio (dependiente, independiente y ajena). Los resultados resaltan tendencia hacia la adopción de energía solar aunque es empleada motivado por la reducción de hasta el 39% de costos operativos energéticos y la factibilidad se sustenta en la disponibilidad de radiación solar eficiente y constante. El análisis factorial confirmatorio resalta cargas factoriales altas en las tres variables dependiente, independiente y ajena de 3.64, 3.85 y 3.42 respectivamente, con valores z significativos de 12.7 y valor $p < .001$. Respaldando con alta significancia la fiabilidad de las variables y dimensiones de estudio.

Palabras clave: Sostenibilidad, energía limpia, automatización, desarrollo sostenible.

ABSTRACT

Solar energy is an energy generator that has gained momentum in recent decades. The research aims to analyze the impact of integrating solar energy in automated industrial systems, identifying terms of efficiency, energy, sustainability and reduction of operating costs. A methodology supported by the positivist paradigm of a quantitative, descriptive and exploratory approach was used. The quantitative empirical technique was the survey. The statistical method was confirmatory factor analysis. The sample was 50 individuals in three groups: 10 managers, 20 engineers and 20 technicians. Three dimensions were used for each study variable (dependent, independent and extraneous). The results highlight a trend towards the adoption of solar energy although it is used motivated by the reduction of up to 39% of energy operating costs and the feasibility is based on the availability of efficient and constant solar radiation. The confirmatory factor analysis highlights high factor loadings in the three dependent, independent and extraneous variables of 3.64, 3.85 and 3.42 respectively, with significant z values of 12.7 and p value $< .001$. Supporting with high significance the reliability of the study variables and dimensions.

Keywords: Sustainability, clean energy, automation, sustainable development.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad debido al calentamiento global y al cambio climático, a nivel mundial se identifica preocupación en la sostenibilidad y cuidado al medio ambiente por ello se busca alternativas más sustentables y amigables como lo afirma Ortíz et al., (2021) en la XVI conferencia sobre cambio climático realizada en Cancún, varios países reafirmaron su compromiso con las directrices del Protocolo de Kioto de 1997. Esto subraya la importancia de continuar promoviendo la producción y desarrollo de energías renovables. Entre estas, la energía solar ha mostrado un crecimiento destacado, generando electricidad mediante paneles fotovoltaicos que capturan los rayos del sol.

La energía solar se presenta como una alternativa valiosa porque es un recurso natural que no se agotará, a diferencia de los combustibles fósiles derivados de los hidrocarburos. Aunque la instalación de estos sistemas puede resultar costosa en el corto plazo, a largo plazo su utilización conllevará una reducción en los gastos de consumo eléctrico, una disminución en las emisiones de CO₂ y menos impactos negativos en el medio ambiente. (Parreño et al., 2020)

Los paneles solares son dispositivos diseñados para aprovechar la energía del sol y convertirla en electricidad. Están compuestos por células solares que transforman la luz solar en energía eléctrica mediante un proceso conocido como efecto fotovoltaico. Es fundamental considerar que la capacidad de un panel solar para producir electricidad depende de la cantidad

de luz solar que recibe. Por ello, su desempeño es más eficiente en lugares con luz solar directa, mientras que su efectividad disminuye en zonas sombreadas o con nubosidad. Además, factores como la temperatura del ambiente y otras condiciones climáticas también pueden influir en su rendimiento. (Vilariño, 2023).

Los sistemas solares fotovoltaicos o SFTV incluye diversos componentes eléctricos y electrónicos, cuyo propósito es transformar la energía solar en electricidad. Dependiendo de cómo estén conectados, los sistemas fotovoltaicos pueden clasificarse en dos tipos: On-Grid, que están conectados a la red eléctrica, y Off-Grid, que funcionan de manera independiente, sin conexión a la red. (Martínez & Cristancho, 2021)

La energía solar fotovoltaica cada día tiene más reconocimiento e incrementa su uso. El crecimiento notable de la energía solar fotovoltaica en todo el mundo se debe principalmente a la caída de los precios de sus componentes esenciales. En la actualidad, un panel solar fotovoltaico cuesta solo una décima parte de lo que costaba en 2007, y los inversores fotovoltaicos han visto una reducción de su precio a la mitad en ese mismo tiempo. Esto se debe a importantes innovaciones en los procesos de producción, que han acortado los tiempos de instalación y reducido los costos. Como resultado, la energía solar fotovoltaica se ha vuelto altamente competitiva en pocos años. (Espejo & Aparicio, 2020)

“La generación de electricidad es responsable de la segunda mayor proporción de emisiones de gases de efecto invernadero”. (Camarena & Nahui, 2024, p.26) Las fuentes de combustibles, así como las hídricas para producción de energía también han ocasionado inconvenientes como sequías y cambios en el clima que cada vez son inciertos debido al cambio climático global. Estos escenarios presentan a las energías renovables como una de las valiosas alternativas. (Trujillo, Mosquera & García, 2021)

En los últimos años, la energía fotovoltaica ha ganado presencia en diversas partes del mundo, y Ecuador no es una excepción. El país cuenta con una topografía diversa, una gran variedad de climas y condiciones singulares que le brindan un notable potencial para aprovechar fuentes de energía renovable. (Oña, Suquillo & Miniguano, 2023)

La ubicación geográfica del Ecuador, lo convierte en un país privilegiado en lo que a recurso solar se refiere. Esto se debe a que el ángulo de incidencia de la luz solar es perpendicular a nuestra superficie durante todo el año, situación que no ocurre en otros sitios del planeta, en donde el ángulo de incidencia de la luz solar varía acorde a las estaciones del año. (Montes et al., 2007 citado por Pacheco, Tapia & Guevara, 2020)

Ecuador, gracias a su ubicación geográfica, cuenta con un alto promedio anual de radiación solar, que oscila entre 4 y 6 kWh/m². Estos valores son comparables a los de otras regiones tropicales como Colombia, donde el potencial solar diario es cercano a 4,5 kWh/m². Esto sugiere que Ecuador podría desarrollar una capacidad solar fotovoltaica instalada de aproximadamente 9 MWp, aplicable tanto a proyectos del sistema eléctrico nacional como a iniciativas del sector privado. (Parreño et al., 2020)

En el Ecuador existe la central fotovoltaica Salinas y Tren Salinas, con una potencia instalada de 3.6 MW, está localizada en la provincia de Imbabura. Esta planta cuenta con 14.400 paneles solares, con ellos de captar la energía solar y transformarla en electricidad limpia y renovable.

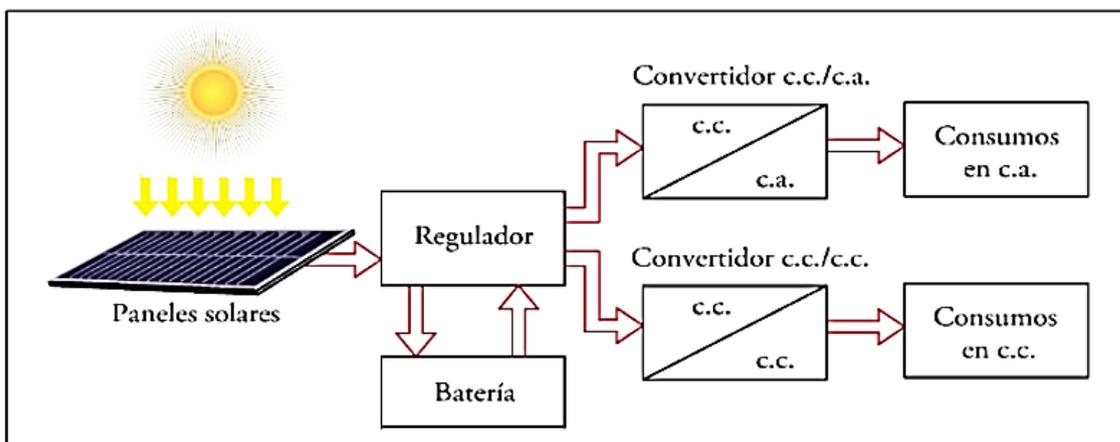
Desde julio de 2014 cuando empezó a funcionar, contribuyó significativamente al Sistema Nacional Interconectado (S.N.I.), generando un promedio anual de 4.993,6 MWh. Es un aporte significativo a la cabida energética del país, e impulsa el uso de generadores de energía sostenibles, reduce el consumo de combustibles fósiles y mitiga los efectos generados en el ambiente como el cambio climático. Este es un ejemplo del compromiso del Ecuador con la transformación hacia energías renovables, la seguridad energética y el desarrollo económico y ambiental. (PV Magazine, 2023)

Aunque en Ecuador ha habido avances en el impulso de las energías renovables en los últimos años, aún queda mucho por hacer para lograr una transición completa de una matriz energética basada en el petróleo a una enfocada en recursos renovables. No es suficiente con aprobar leyes que promuevan este cambio; se necesita un plan estratégico coordinado por el Estado que involucre a todos los sectores. La configuración energética del país también está influenciada por sus características geofísicas y la disponibilidad de recursos renovables. (Barragán, 2020)

Por lo expuesto la investigación tiene como objetivo analizar el impacto de integrar energía solar en sistemas industriales automatizados, identificando términos de eficiencia energética, sostenibilidad y reducción de costos operativos. El objeto de estudio se delimita en “la integración de energía solar en sistemas electromecánicos utilizados en procesos de automatización industrial”. Para efecto el problema de estudio se plantea como pregunta ¿Cómo influye la incorporación de energía solar en los sistemas electromecánicos en la automatización industrial, en términos de eficiencia y sostenibilidad?

Una instalación fotovoltaica (solar) para Vásquez (2018) citado por Bautista (2022) se compone de las siguientes partes: la placa o captador solar fotovoltaico, el regulador, la batería, el convertidor o inversor y los elementos para el conectado o puesta en marcha, como se aprecia en la siguiente figura:

Figura 1. Partes de una conexión fotovoltaica

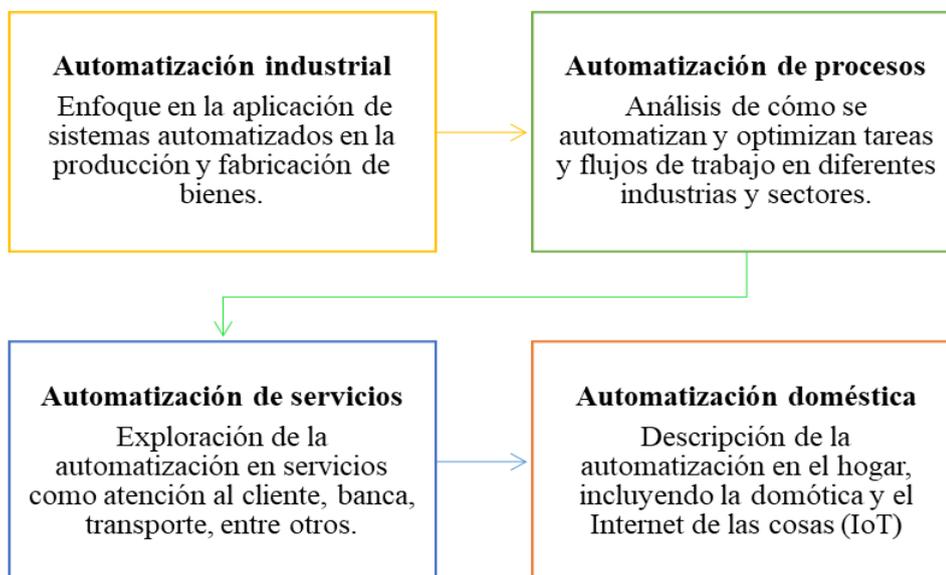


Por su parte la automatización consiste en el uso de tecnología para llevar a cabo tareas que solían ser realizadas por personas, controlando de manera automática la secuencia de operaciones. Desde sus comienzos en la industrialización, cuando la intervención humana era crucial, la automatización ha avanzado hacia sistemas que funcionan casi de forma autónoma. La llegada de la tecnología digital, los PLCs y los avances en sensores y comunicaciones digitales han permitido una implementación más eficiente de algoritmos de control. (Amaya, 2024)

La historia de la automatización inició con la aparición de las máquinas, lo que permitió la producción a gran escala. Para lograr esto, fue necesario dividir el trabajo en tareas más simples y específicas. Este proceso de mecanización masiva marcó el comienzo de la automatización. (Mejía et al., 2019)

La automatización para García (2010) citado por Guerra et al., (2024) ha sido un proceso que ha evolucionado, cambiando la manera en que se llevan a cabo tareas y procesos en distintos ámbitos. El avance constante de la tecnología promete una automatización aún más amplia en el futuro, lo que ofrece tanto oportunidades como retos para la sociedad en general. Se pueden encontrar cuatro tipos de automatización como se detalla a continuación.

Figura 2. Tipos de automatización



MATERIALES Y MÉTODOS

La presente es una investigación que se enmarca dentro del paradigma positivista puesto que se orienta a medir de forma objetiva como la integración de la energía solar puede generar una incidencia significativa en la sistematización industrial. Posee un enfoque cuantitativo, es descriptiva y exploratoria pues pretende explorar como se está integrando la energía solar en la automatización industrial. La técnica empleada fue la encuesta. Como técnica de análisis se emplea estadística descriptiva y el análisis factorial confirmatorio entre las variables dependiente, independiente y ajenas.

La muestra de estudio se orientó a 50 profesionales de empresas industriales divididos en tres grupos como se detalla a continuación.

Tabla 1 Muestra de estudio

Grupo	Número de individuos
Gerentes	10
Ingenieros	20
Técnicos	20
Total	50

Las variables y dimensiones de estudio se fundamentan a continuación:

Tabla 2. Variables y dimensiones de estudio

VARIABLES	DESCRIPCIÓN	DIMENSIONES
Dependiente	Eficiencia y beneficio de los sistemas de automatización industrial.	⇒ Ahorro energético.
		⇒ Reducción de costos operativos.
		⇒ Continuidad operativa de los sistemas
Independiente	Integración de energía solar en sistemas electromecánicos	⇒ Grado de integración de energía solar.
		⇒ Tecnologías utilizadas para la integración (paneles solares, inversores, sistemas de almacenamiento).
		⇒ Adaptación del sistema electromecánico.
Ajenas	Condiciones climáticas y disponibilidad de luz solar.	⇒ Disponibilidad de radiación solar.
		⇒ Variabilidad de las condiciones meteorológicas.
		⇒ Impacto de la ubicación geográfica en la captación de energía solar.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Diversos estudios a nivel mundial, han demostrado que las infecciones adquiridas en UCI provienen de países La variable independiente mediante sus tres dimensiones de estudio refleja tendencias importantes en cuanto al grado de integración (dimensión 1), los técnicos e ingenieros se encuentran más involucrados y tienen mayor conocimiento del uso de ES, y afirman que más del 50% de los sistemas industriales automatizados de sus empresas están alimentados por esta fuente de energía, aunque en su mayoría se emplea como una fuente complementaria. En cuanto a las razones para integrar ES, el principal motor ha sido la reducción de costos en energía, seguido de los beneficios legales e incentivos que genera el uso de este tipo de energía sustentable.

En el aspecto tecnológico (dimensión 2) los paneles solares fotovoltaicos de silicio monocristalino son la tecnología más utilizada en las empresas. También se observa una preferencia por el uso de almacenamiento energético (plantas on grid) frente a las baterías de almacenamiento (off grid) es decir las empresas prefieren emplear un sistema o programa de energía solar conectado a la red. Las revisiones y actualizaciones del sistema fotovoltaico varían entre los grupos siendo más frecuente las revisiones con periodicidad de cada dos o tres años. En el aspecto de adaptación de los sistemas electromecánicos (dimensión 3), la mayoría de las empresas han hecho modificaciones parciales o ninguna modificación, enfrentándose a retos técnicos y económicos y un aspecto importante es resaltar que la capacitación básica es la que se ha proporcionado en mayor magnitud entre los ingenieros y técnicos referente al uso de ES y algunos técnicos afirman no haber recibido capacitación en absoluto.

La variable dependiente revela que los sistemas de energía solar (ES) en las empresas encuestadas han logrado reducir el consumo energético, en efecto el 39% de los encuestados (especialmente ingenieros y técnicos) considera que la disminución se sitúa entre el 25% y 50%. En promedio el 37% de encuestados señala disminución significativa en las facturas y el 29% solo percibe una disminución leve. Respecto a la compensación de la inversión en ES, al poner en una balanza el costo-beneficio el 42% de los participantes cree que los beneficios brindan una compensación parcial respecto al costo de inversión del sistema de ES y solo el 19% considera que la inversión es compensada realmente.

Respecto a la continuidad operativa, el 31% cree que la disponibilidad de energía solar es eficiente y constante, el 39% reconoce que existen interrupciones leves. Al enfrentar baja producción solar, un 53% de las empresas utiliza la red eléctrica convencional como respaldo. Si bien se percibe una mejora en ahorro y eficiencia, la constancia en la operación de los sistemas solares y su relación costo-beneficio aún presenta retos para las empresas.

Figura 3. Variable independiente "Integración de energía solar"

Variable	Dimensión	Preguntas/Respuestas	Respuestas	Respuestas		
				Gerentes	Ingenieros	Técnicos
Variable independiente: Integración de energía solar	Dimensión 1: Grado de integración de energía solar	¿Nivel de sistemas electromecánicos de tu empresa alimentados por energía solar?	Más del 75% del sistema está alimentado por energía solar			
			Igual o más del 50% del sistema está alimentado por energía solar			
			Menos del 50%			
		¿Es la ES la fuente principal de energía en el sistema automatizado?	Sí, es la fuente principal de energía			
			Se utiliza como fuente complementaria			
			Existe pero no se utiliza muy a menudo			
		¿Porqué razón se integró ES en el sistema automatizado?	Disminución de costos en energía			
		Objetivo de sostenibilidad y cuidado del ambiente				
		Disposiciones legales y aprovechamiento de beneficios e incentivos				
	Dimensión 2: Tecnologías utilizadas para la integración	¿Tipo de tecnología en paneles solares que utiliza tu empresa?	Paneles fotovoltaicos de silicio monocristalino			
			Paneles fotovoltaicos de silicio policristalino			
			Otro tipo de paneles solares			
		¿La empresa utiliza almacenamiento energético o conexión a la red?	Utiliza almacenamiento energético (Plantas on grid)			
			Utiliza baterías de almacenamiento (planta off grid)			
			No tengo conocimiento			
		¿Se revisa, supervisa y actualiza el sistema fotovoltaico?	Sí, frecuentemente (una o dos veces por año)			
		Sí, de forma regular (cada dos o tres años)				
		No se realizan revisiones, supervisiones o actualizaciones				
Dimensión 3: Adaptación del sistema electromecánico	¿Se realizaron modificaciones en los sistemas electromecánicos para adaptarse al uso de ES?	Sí, completamente modificados				
		Solo se modificaron de forma parcial				
		No se modificaron				
	¿Adoptar la ES para tu empresa ha sido?	Fácil, sin complicaciones				
		Con complicaciones técnicas y económicas				
		Otro tipo de retos o complicaciones				
	¿Se brindó capacitación al personal en el uso de ES?	Sí, capacitación especializada				
	Sí, capacitación básica					
	No se brindó capacitación					

Nota: ES para efectos de la investigación significa "Energía Solar".

Figura 4 Variable dependiente "Eficiencia y rendimiento de los sistemas industriales automatizados"

Variable	Dimensión	Preguntas/Respuestas	Respuestas	Respuestas		
				Gerentes	Ingenieros	Técnicos
Variable dependiente: Eficiencia y rendimiento	Dimensión 1: Ahorro energético	¿En que nivel la ES ha disminuido el consumo energético de fuentes tradicionales?	Más del 50% del consumo			
			Entre el 25% y 50% del consumo			
			Menos del 25% del consumo			
		¿Cree que existe disminución significativa en las facturas de energía?	Sí, la disminución es significativa			
			Sí, una disminución leve			
			No existe disminución			
		¿Cree que el ahorro en las facturas de energía compensa la inversión de implementar el sistema de ES?	Sí, la disminución compensa la inversión			
		Sí, pero de forma parcial				
		No, la disminución no compensa la inversión				
	Dimensión 2: Reducción de costos operativos	¿La ES ha reducido los costos de operación de su empresa?	Sí, la disminución es significativa			
			Sí, una disminución leve			
			No existe disminución			
		¿En qué aspectos operativos de producción se ha identificado mayormente el ahorro?	Producción y maquinaria			
			Iluminación, ventilación			
			Otro			
		¿El mantenimiento del sistema fotovoltaico afecta al ahorro?	El ahorro supera el costo de mantenimiento del sistema			
		El ahorro no supera el costo de mantenimiento del sistema				
		El ahorro es muy inferior comparado al costo de mantenimiento				
Dimensión 3: Continuidad operativa de los sistemas	¿La disponibilidad de energía solar es eficiente y constante?	La disponibilidad de energía solar es eficiente y constante				
		La disponibilidad de energía solar es eficiente pero no constante				
		La disponibilidad de energía solar no es eficiente				
	¿La disponibilidad de energía solar ha afectado la continuidad operativa de los sistemas automatizados?	No afecta los sistemas funcionan continuamente sin interrupción				
		Afecta a veces con interrupciones o bajas operativas leves				
		Las interrupciones son regulares y significativas				
	¿Qué sistema de respaldo utiliza su empresa en caso de baja producción solar?	Generadores de energía basados en combustibles fósiles				
	Red eléctrica convencional					
	No existen sistemas de respaldo					

La variable ajena "condiciones climáticas" devala en cuanto a la disponibilidad de radiación solar, el 44% de los

encuestados (gerentes, ingenieros y técnicos) reporta que hay buena radiación solar de tres a cuatro días por semana, mientras que un 29% menciona que la radiación es buena solo de uno a dos días. En términos de la calificación del nivel de radiación solar, el 44% de los encuestados lo califica como medio, mientras que un 29% lo considera bajo. Además, el 48% menciona que la radiación solar mejora significativamente en verano.

La variabilidad de las condiciones meteorológicas, resalta que un 48% de los encuestados indica que los días nublados afectan levemente la operación de los sistemas de energía solar, mientras que un 27% menciona que afectan significativamente. Un 48% de las empresas posee medidas claras para enfrentar variaciones climáticas, pero un 27% indica que las medidas no son del todo claras. En cuanto al impacto de la ubicación geográfica, el 52% considera que su ubicación cuenta con servicios energéticos eficientes y estables, y solo un 27% indica que se ha realizado un estudio completo sobre la disponibilidad de radiación solar en la ubicación de la empresa.

Figura 5 Variable ajena "condiciones climáticas"

Variable	Dimensión	Preguntas/Respuestas	Respuestas	Respuestas		
				Gerentes	Ingenieros	Técnicos
Variable ajena: Condiciones climáticas	Dimensión 1: Disponibilidad de radiación solar	¿En promedio cuantos días a la semana hay buena radiación solar?	De cinco o más días	6	4	4
			De tres a cuatro días	2	10	10
			De uno a dos días	2	6	6
		¿Cómo califica el nivel de radiación solar?	Alto	6	4	4
			Medio	2	10	10
			Bajo	2	6	6
	¿La radiación solar mejora en algunas época del año?	Sí, mejora significativamente en el verano	6	9	9	
		Sí, mejora en verano de forma leve	2	7	7	
		No hay mejora todo el año es igual	2	4	4	
	Dimensión 2: Variabilidad de las condiciones meteorológicas	¿Los días lluviosos o nublados afectan la disponibilidad de ES?	Significativamente, los sistemas dejan de operar	3	7	7
			Levemente, los sistemas siguen operando con altibajos	3	11	11
			No afecta, los sistemas funcionan normalmente	4	3	3
		¿Con qué frecuencia se dan cambios climáticos fuertes que efecten la operación de sus sistemas?	Frecuentemente	2	2	2
			Regularmente	3	8	8
			Rara vez	5	10	10
¿La empresa posee medidas de acción en la recolección de ES frente a variaciones	Sí, existe una ruta de acción clara y específica	7	12	12		
	Existen medidas pero no son claras	2	6	6		
	No se han tomado medidas	1	2	2		
Dimensión 3: Impacto de la ubicación geográfica	¿Cómo considera la ubicación de la empresa para la captación de ES?	Con alta disponibilidad de radiación solar	6	4	4	
		Con disponibilidad media de radiación solar	2	10	10	
		Con poca disponibilidad de radiación solar	2	6	6	
	¿La ubicación de la empresa frente a la red de energía convencional?	Cuenta con los servicios energéticos eficiente y estables	7	14	14	
		Cuenta con servicios energéticos limitados	2	5	5	
		No cuenta con servicios energéticos convencionales	1	1	1	
		¿Se realizó un studio sobre la ubicación y la disponibilidad de ES?	Sí, se realizó un estudio completo	1	5	5
		Sí, se realizó un estudio parcial	7	12	12	
No se realizó ningún estudio	3	3	3			

Análisis factorial confirmatorio entre variables

El análisis factorial confirmatorio muestra que las Variables Dependiente, Independiente y Ajena tienen altas cargas factoriales (3.64, 3.85 y 3.42, respectivamente), con valores Z muy significativos (12.7 para cada una) y $p < .001$. Esto indica que cada variable está fuertemente relacionada con su factor correspondiente, lo que sugiere que el modelo captura de manera adecuada las relaciones entre los indicadores y los factores latentes. La alta significancia refuerza la fiabilidad de estas relaciones.

En cuanto a las covarianzas entre factores, el modelo revela una fuerte relación entre el Factor 1 (Variable Dependiente) y el Factor 2 (Variable Independiente) con un estimador de 0.520 ($Z = 6.42, p < .001$). También existe una covarianza moderada entre el Factor 1 y el Factor 3 (Variable Ajena), con un estimador de 0.398 ($Z = 4.25, p < .001$). Sin embargo, la covarianza entre los factores 2 y 3 es más débil y no significativa (estimador de 0.168, $p = 0.120$), lo que sugiere que estos dos factores están menos relacionados entre sí.

Tabla 3. Análisis factorial confirmatorio

Cargas de los Factores					
Factor	Indicador	Estimador	EE	Z	p
Factor 1	Variable dependiente	3.64	0.286	12.7	< .001
Factor 2	Variable Independiente	3.85	0.302	12.7	< .001
Factor 3	Variable ajena	3.42	0.269	12.7	< .001

Estimadores de los Factores

Covarianzas de los Factores					
		Estimador	EE	Z	p
Factor 1	Factor 1	1.000	^a		
	Factor 2	0.520	0.0810	6.42	< .001
	Factor 3	0.398	0.0935	4.25	< .001
Factor 2	Factor 2	1.000	^a		
	Factor 3	0.168	0.1080	1.55	0.120
Factor 3	Factor 3	1.000	^a		

^a parámetro fijo

Los resultados del análisis factorial confirmatorio reflejan una alta correlación entre las variables dependiente, independiente y ajena, lo que valida la estructura teórica del modelo sobre la integración de la energía solar (ES) en sistemas electromecánicos industriales. Las altas cargas factoriales de las tres variables (3.64, 3.85 y 3.42) y los valores significativos de Z (12.7, $p < .001$) indican que cada variable está bien definida por sus respectivos indicadores y que el modelo capta correctamente las interacciones entre los factores. Esto sugiere que los sistemas industriales automatizados, a través de la implementación de la energía solar, tienen una clara relación con la reducción del consumo energético y los beneficios financieros a largo plazo.

En cuanto a las covarianzas entre factores, la relación más fuerte se da entre la variable dependiente (eficiencia de los sistemas automatizados) y la independiente (integración de energía solar), con un estimador de 0.520, lo que indica que la eficiencia energética está altamente influenciada por el grado de adopción de la energía solar en las empresas. La moderada covarianza entre la variable dependiente y la ajena (condiciones climáticas) con un estimador de 0.398 también es significativa, lo que sugiere que aunque las condiciones climáticas afectan a la energía solar, estas no son tan determinantes en la operación diaria como la integración tecnológica. Sin embargo, la débil relación entre la variable independiente y la ajena (0.168) refleja que la decisión de adoptar energía solar no está tan influenciada por las condiciones climáticas locales, sino más bien por factores económicos y tecnológicos.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La integración de la energía solar en los sistemas electromecánicos industriales se plantea como una solución eficiente en la reducción del consumo energético, principalmente impulsada por la reducción de costos y los incentivos legales. Sin embargo, las empresas enfrentan retos técnicos y de capacitación, limitando el grado de adopción total de esta tecnología. A pesar de que las condiciones climáticas afectan levemente la operación de los sistemas de energía solar, la decisión de implementarlos está más influenciada por factores económicos y tecnológicos. Esto sugiere que las empresas priorizan la rentabilidad y las mejoras tecnológicas sobre las condiciones ambientales al integrar energía solar.

REFERENCIAS

Amaya Rondón, Cristóbal José. «Evaluación de la automatización para el ahorro energético en edificios educativos Caso de estudio de la Universidad de La Costa.» Universidad de la Costa. 2024. <https://repositorio.cuc.edu.co/entities/publication/8bcfbd57-d7e0-4fc6-a899-ff04e10fe260>.

Barragán Llanos, Rommel Alexis. «La generación de energía eléctrica para el desarrollo industrial en el Ecuador a partir del uso de las energías renovables.» Universidad Internacional SEK. 2020. <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/4023/1/Rommel%20Alexis%20Barrag%C3%A1n%20Llanos.pdf>.

Bautista Flores, Edwin Patricio. «Implementación de una herramienta de monitorización y control para un sistema híbrido eólico-fotovoltaico con integración a la red eléctrica.» Universidad Técnica del Norte. 2022. <https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/12513/8/04%20MEL%20156%20TRABAJO%20GRADO.pdf>.

Cmarena Gamarra, Carolina, y Johnny Nahui Ortiz. «La energía solar como agente de descarbonización de la matriz energética: una propuesta para la región Lambayeque (Perú).» South Sustainability 5, nº 1 (2024): 25-29.

Espejo Marín, Cayetano, y Ana Eulalia Aparicio Guerrero. «La Producción de Electricidad con Energía Solar Fotovoltaica en España en el Siglo XXI.» REA Revista de Estudios Andaluces 39, nº 2020 (2020): 66-93.

- Guerra Agresott, Diego Luis, Rubén Dario Gutierrez Zapata, y Juan José Martínez Gómez. «Automatización de la máquina de control numérico MAHO-600 mediante el uso del eje A para su mejoramiento.» Institución Universitaria Pascual Bravo. 2024. <https://repositorio.pascualbravo.edu.co/handle/pascualbravo/2549>.
- Martínez Ruiz, Luydin Humberto, y Leidy Maritza Cristancho Franco. «Diseño de un sistema de energía solar fotovoltaico en las instalaciones del edificio "d" de las UTS.» Unidades Tecnológica de Santander. 2021. <http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/7007>.
- Mejía Neira, Ángel, Daladier Jabba, Garyn Carrillo Caballero, y José Caicedo Ortiz. «Influencia de la Ingeniería de Software en los Procesos de Automatización Industrial.» Información tecnológica 30, n° 05 (2019): 118-132.
- Oña, Cristina, Ismael Suquillo, y Henry Miniguano. «Metodología de Diseño de Sistemas Aislados de Energía Solar Fotovoltaica para Áreas Rurales en Ecuador.» Energía Revista Técnica 20, n° 1 (2023): 43-51.
- Ortiz Muñoz, Diana Yaziel, David Luviano Cruz, Luz Angélica García Villalba, Luis Asunción Pérez Domínguez, y Luis Alberto Rodríguez Picón. «Control de posición angular para panel solar basado en redes neuronales y control inteligente.» Mundo Fesc 11, n° S4 (2021): 110-123.
- Pacheco Cunduri, Mayra Alejandra, Isodoro Enrique Tapia Segarra, y Esteban Augusto Guevara Cabezas. «Diseño e implementación de un seguidor solar de un eje para la optimización de un sistema fotovoltaico de 100 W aplicando cálculos matemáticos y automatización industrial.» Ciencia digital 4, n° 3 (2020): 336-354.
- Parreño José, Oscar Lara, Romel Jumbo, Hugo Caicedo, y David Sarzosa. «Diseño de un módulo de energía solar como estrategia de ahorro energético y disminución de la emisión de CO₂.» Agroindustria, Sociedad y Ambiente 2, n° 15 (2020): 4-18.
- PV Magazine. Completado proyecto solar de 3,6 MW en Ecuador. 2023. <https://www.pv-magazine-latam.com/2014/08/28/completado-proyecto-solar-de-3-6-mw-en-ecuador/>.
- Trujillo Sandoval, Danny Javier, Fabricio Ismael Mosquera Velásquez, y Edwin Marcelo García Torres. «Análisis de viabilidad de microrredes eléctricas con alta penetración de recursos renovables en zonas urbanas: caso de estudio condominios residenciales.» Enfoque UTE 12, n° 2 (2021): 139-151.
- Vilariño, Martel Iván. Sistema de monitorización y control remoto de las condiciones de cultivo para un invernadero con tecnología IoT y energía solar. 2023. <https://repositorio.uloyola.es/handle/20.500.12412/4273>.