

Evaluación de un sistema de energía solar fotovoltaica en la empresa

Comercializadora de Zumos JF S.A.S

Elaborado por:

Daniel Felipe Dueñas

Miguel Antonio Roa

Juan Felipe Jiménez Roncancio

Especialización en gerencia de procesos de calidad e innovación- Plan E+

Universidad Ean

Escuela de Formación en Investigación

Seminario de Investigación

Bogotá

28/01/2025

Resumen: La empresa Comercializadora de zumos JF S.A.S tiene como reto el alto consumo de energía eléctrica en sus procesos productivos, esto impacta directamente sus costos operativos y por tanto su rentabilidad. Con el aumento constante de las tarifas eléctricas es necesario explorar alternativas sostenibles como lo son las energías limpias para optimizar los costos y gastos sin comprometer la calidad de sus productos.

Esta evaluación busca encontrar la viabilidad económica de la implementación de un sistema de energía solar fotovoltaica, evaluando el impacto en cuanto a inversión inicial, reducción de costos y retorno de la inversión. A través de un enfoque basado en el análisis del consumo energético actual, la exploración de tecnologías fotovoltaicas adecuadas y una proyección de ahorro potencial, se busca determinar si esta solución es una estrategia efectiva para mejorar la eficiencia operativa de la empresa y fortalecer su competitividad en el sector.

Palabras clave

Energía solar, eficiencia energética, energía renovable, gestión energética, industria alimentos, económico

Planteamiento del problema

La industria alimentaria se enfrenta a desafíos relacionados con el aumento de los costos de energía, lo que impacta directamente en la rentabilidad de las empresas. Comercializadora de Zumos JF S.A.S, dedicada a la producción y venta de zumos de fruta, depende en gran medida de procesos que requieren un consumo significativo de energía. Las nuevas alternativas energéticas son esenciales para mejorar la competitividad y la eficiencia operativa de la empresa.

Descripción del problema

La compañía utiliza diversos equipos y maquinaria que demandan un considerable consumo energético para sus procesos productivos. Este consumo se traduce en altos costos operativos, lo que impacta negativamente en la rentabilidad general. Con el aumento constante de las tarifas eléctricas y la necesidad de optimizar gastos, es esencial que Comercializadora de Zumos JF S.A.S. busque soluciones energéticas que le permitan optimizar sus costos operativos sin comprometer la calidad de sus productos.

Pregunta de investigación

¿Cuál sería el impacto en los costos operativos al implementar un sistema de energía solar fotovoltaica en Comercializadora de Zumos JF S.A.S.?

Objetivo general

Analizar el impacto económico que tendría la adopción de un sistema de energía solar fotovoltaica en Comercializadora de Zumos JF S.A.S., como estrategia para reducir costos operativos.

Objetivos específicos

1. Examinar los costos actuales relacionados con el consumo energético en los procesos productivos de Comercializadora de Zumos JF S.A.S.
2. Investigar las diversas tecnologías disponibles en energía solar fotovoltaica que se ajusten a las necesidades específicas del proceso productivo de Comercializadora de Zumos JF S.A.S. teniendo en cuenta también los costos de implementación para determinar el retorno de la inversión (ROI)

3. Realizar una proyección teórica para evaluar el potencial ahorro en costos operativos que obtendría tras la posible implementación del sistema solar fotovoltaico.

Marco Teórico

Introducción

El presente marco teórico propone evaluar la implementación un sistema de energía solar fotovoltaica en la empresa Comercializadora de Zumos JF S.A.S. Con el presente trabajo de investigación se pretender dar una visión general de los beneficios económicos, ambientales y legales que esta tecnología puede ofrecer. Este enfoque pretende fundamentar cómo la adopción de tecnologías fotovoltaicas puede reducir los costos operativos relacionados con el consumo energético, fortaleciendo así la sostenibilidad económica de la empresa.

Historia de la energía fotovoltaica

El efecto fotovoltaico fue descubierto por el francés Edmund Becquerel en 1839, cuando experimentaba con dos electrodos metálicos en una solución conductora, y apreció un aumento de la generación eléctrica con la luz. En 1873, Willoughby Smith descubre el efecto fotovoltaico en sólidos, en el selenio, y en 1877 W. G. Adams y R. E.

Day producen la primera célula fotovoltaica de selenio. En 1904, Albert Einstein publica su artículo sobre el efecto fotovoltaico, al mismo tiempo que un artículo sobre la teoría de la relatividad. En 1921, Einstein gana el premio Nobel por sus teorías de 1904, explicando el efecto fotovoltaico (recibe el premio y lee el discurso en Gotemburgo, Suecia, en 1923). La tecnología fotovoltaica tuvo un importante desarrollo a finales de los años cincuenta como parte de los programas espaciales, con la finalidad de desarrollar una fuente de energía económica e inagotable. En 1954, los investigadores D. M. Chapin, C. S. Fuller y G. L. Pearson de los Laboratorios Bell en Murray Hill, New Jersey, producen la primera célula de silicio, publican el artículo «A New Silicon p-n junction Photocell for converting Solar Radiation into Electrical Power», y hacen su presentación oficial en Washington (26 abril). En 1955, se le asigna a la industria americana la tarea de producir elementos solares fotovoltaicos para aplicaciones espaciales. Hoffman Electronic, empresa de Illinois (EE.UU.), ofrece células del 3% de 14mW a 1.500 \$/Wp y en 1957 Hoffman Electronic alcanza el 8% de rendimiento en sus células, y el 10% en 1959. El 17 de marzo de 1958, se lanza el Vanguard I, el primer satélite alimentado con energía solar fotovoltaica. El satélite lleva 0,1 W, en una superficie aproximada de 100 cm², para alimentar un transmisor de respaldo de 5 mW, que estuvo operativo 8 años. La Unión Soviética muestra, en la Exposición Universal de Bruselas, sus células fotovoltaicas con tecnología de silicio. En 1962, se lanza el primer satélite comercial de telecomunicaciones, el Telstar, con una potencia fotovoltaica de 14 W. En 1963, Sharp consigue una forma práctica de producir módulos de silicio; en Japón

se instala un sistema de 242 W en un faro, el más grande en aquellos tiempos. En 1964, el navío espacial Nimbus se lanza con 470 W de paneles fotovoltaicos. En 1966, el observatorio astronómico espacial lleva ya 1 kW de paneles solares. En 1977, la producción de paneles solares fotovoltaicos en el mundo es de 500 kW. En 1980, ARCO Solar (después Siemens, después Shell Solar) es la primera empresa con una producción industrial de 1 MW de módulos al año. Gracias al descenso de los costes y a la mejora del rendimiento, los sistemas fotovoltaicos han extendido su utilización a numerosas aplicaciones, incrementándose sustancialmente la potencia instalada (Bayod Rújula, 2009).

Estado actual y perspectivas

Como se ha indicado, la energía fotovoltaica fue inicialmente usada para aplicaciones espaciales o para electrificación en lugares remotos. Pero desde la última década del siglo XX, sin embargo, se ha convertido en una tecnología en creciente desarrollo, con un aumento anual en la producción (y, por tanto, en las ventas e instalación), desde 1997, de más de un 30% anual. En 2000, la potencia instalada a nivel mundial superó los 1.000 MWp, y en los países en vías de desarrollo más de medio millón de hogares se benefician ya de algún grado de electrificación a partir de sistemas fotovoltaicos. En 2002, el proyecto de instalación fotovoltaica sobre el tejado más grande

del mundo se realizó en Holanda, donde uno de los edificios de la exhibición hortícola Floriade contó con un tejado de 2,3 MWp. Las aplicaciones más prometedoras para la energía FV son, por un lado, del sector de las grandes instalaciones, de tamaño de MW, y, por otro, las pequeñas instalaciones (decenas de millones) de electrificación rural en países en vías de desarrollo, denominadas SHS, Solar Home Systems, sin olvidar las instalaciones en edificios, conectadas a las redes públicas de distribución de electricidad. Añadido a esto, los sistemas FV pueden aportar más cosas además de la producción de electricidad, como son la mejora en aspectos estéticos de los edificios, la posibilidad de reemplazar materiales tradicionales de construcción (existen, por ejemplo, tejas fotovoltaicas), mejorar la calidad de suministro local, disminuir o retardar las inversiones requeridas para aumentar la red eléctrica, proporcionar puestos de trabajo, etc., lo que constituye un valor añadido. Incluso, la energía fotovoltaica encaja bien en la tendencia general de pasar de una red eléctrica centralizada a un sistema más descentralizado, generación distribuida. Además, las instalaciones en edificios alcanzan tamaños que antes se consideraban de gran planta FV. En el caso de generación a mayor escala ya existen en España grandes instalaciones (a menudo propiedad de varios propietarios, en los denominados huertos solares), de incluso de más de 20 MW. En Portugal, concretamente en Amaraleja (Alentejo), se sitúa la planta fotovoltaica por el momento más grande del mundo, con una potencia de 46 MWp, que ocupa una superficie de 250 hectáreas. Por otra parte, la electrificación rural convencional en países en vías de desarrollo es de poco interés para las compañías eléctricas, debido al alto coste de las

líneas eléctricas junto con las comparativamente bajas cifras de venta de electricidad (aparte de otros inconvenientes, como por ejemplo medioambientales, de impacto en la construcción de líneas, etc.). Aquí la energía FV tiene también fuertes posibilidades de crecimiento. No obstante, en este sector el crecimiento del mercado es inferior al esperado, debido a diversos factores que obstaculizan, como son, la posibilidad de financiación, los servicios post venta poco desarrollados en esas zonas, falta de información, etc (Bayod Rújula, 2009).

El mundo

El mundo ha comenzado a centrar su atención en las energías renovables debido a la necesidad de avanzar hacia economías más sostenibles. Aunque el petróleo, el gas y el carbón siguen siendo las principales fuentes de energía, el hecho de que sean una fuente de energía no renovable y el riesgo que representan para la seguridad energética a largo plazo, junto con el creciente impacto del cambio climático y el calentamiento global, han llevado a muchos países a priorizar las fuentes de energía más limpias. De acuerdo con la Agencia Internacional de Energía Renovable (IRENA, 2021) se estima que para 2030 la electricidad cubrirá el 80% de la demanda energética global. De igual manera, según el informe de (IRENA, 2021), el costo de generación solar se ha reducido en un 85% desde 2010, convirtiéndola en la fuente más competitiva a nivel global. Estos

datos muestran la urgencia de diversificar las fuentes de energía y reducir las emisiones contaminantes para cumplir con acuerdos internacionales tales como el Acuerdo de París y los objetivos planteados en las Conferencias de las Partes (COP).

América Latina

Las iniciativas en energías renovables en América Latina han crecido de manera significativa en las últimas décadas, destacando proyectos de energía eólica, geotermia, hidráulica y solar. Países como Brasil, México y Chile han sido los abanderados en este cambio con inversiones masivas en infraestructuras “sostenibles” que aprovechan los recursos naturales de la región. Específicamente en la sudamerica, la energía solar se posiciona como la mejor opción debido a la abundancia de radiación solar en países tropicales y desérticos. Según (Rondanelli et al., 2015) Chile alberga uno de los mayores niveles de irradiación del mundo en el Desierto de Atacama. Esta acumulación ya había sido documentada previamente por Espinosa (1978), quien en su escrito destacó el potencial del lugar para el desarrollo de proyectos de energía basados principalmente en la utilización de la radiación solar. En el mismo escrito indicó la relevancia de la región para aprovechar su excepcional irradiación solar como fuente de energía sostenible (Espinosa, 1978). Su rápida instalación, costos decrecientes constantes y la gran capacidad de integración en zonas rurales hacen que la energía solar sea una solución

versátil y accesible para enfrentar los desafíos energéticos actuales. Por otra parte, según Samaniego, Aulestia, Lana y Acosta (2024), destacan que la implementación de tecnologías solares puede beneficiar tanto a las grandes ciudades como a comunidades aisladas, promoviendo el desarrollo sostenible y reduciendo la dependencia de combustibles fósiles.

Sin embargo, en los últimos años la versatilidad de la energía solar ha permitido que se expanda más allá de las zonas rurales, convirtiéndose en una opción cada vez más viable para entornos urbanos. En América Latina, muchas pequeñas empresas en áreas urbanas ya están integrando sistemas fotovoltaicos en sus operaciones, aprovechando incentivos gubernamentales y los costos decrecientes de la tecnología. Esto les permite no solo bajar sus gastos operativos, sino también ser más sostenibles y competitivas en el mercado. Así, la energía solar se ha vuelto materia de vital importancia para los ambientes rural y urbano, mostrando su capacidad de adaptarse a diversos contextos y necesidades (IRENA, 2020).

Según (Stolik Novygrad, 2019) las fuentes renovables de energía (FRE) son las que utilizan recursos inagotables de la naturaleza, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen (como la radiación solar) o porque son capaces de regenerarse por medios naturales (como la biomasa). Existen diversas fuentes de energía renovables,

las más utilizadas son: eólica, solar (térmica o fotovoltaica), hidráulica, geotérmica, mareomotriz (mares y océanos) y la undimotriz (olas). Todas estas fuentes se pueden agrupar como no contaminantes. Otras fuentes renovables, pero contaminantes son: la biomasa, en el caso de Cuba, cañera o no cañera

Colombia

En Colombia, la crisis del petróleo de 1973 marcó un punto de inflexión en el desarrollo de tecnologías solares. Según Rodríguez Murcia (2008), a principios de la década de 1970, varias universidades de prestigio en el país sentaron las bases para la instalación de los primeros calentadores solares, tanto en viviendas como en hospitales, impulsando así el uso de esta fuente de energía renovable.

Siendo así, la ya reconocida energía solar, distinguida como una de las fuentes renovables más abundantes y accesibles, ha ganado una importancia significativa en el contexto local debido a su capacidad para reducir los costos en el sector empresarial. Su implementación ha evolucionado hacia sistemas fotovoltaicos especializados, que se clasifican principalmente en dos tipos: sistemas conectados a la red (on-grid) y sistemas autónomos (off-grid). Los sistemas on-grid permiten a los usuarios generar energía solar mientras permanecen conectados a la red eléctrica, ideal para áreas urbanas con infraestructura desarrollada. Por otro lado, los sistemas off-grid ofrecen soluciones

diferentes permitiendo el acceso a electricidad sin necesidad de conexión a la red. Estos avances tecnológicos han impulsado el uso de la energía solar en distintos contextos, destacando su papel clave en el desarrollo sostenible (Kalogirou, 2020; Parida, 2011).

Colombia también ha tenido la suerte de ser uno de los países más ricos en agua del mundo (FAO, 2003), con recursos hídricos históricamente abundantes que le permitieron al país desarrollar un sistema de energía de bajo costo que cuenta con la tercera mayor capacidad hidroeléctrica instalada en América del Sur con casi 12 gigavatios (GW) (IHA, 2020). Sin embargo, la disponibilidad de agua ha disminuido en la última década, debido a los impactos del cambio climático y a la creciente demanda de la población y el crecimiento económico. El país ha experimentado igualmente fenómenos meteorológicos extremos vinculados a los fenómenos del Niño y La Niña, que respectivamente pueden causar sequías prolongadas e inundaciones extremas, lo que afecta, por lo tanto, la producción hidroeléctrica. Los eventos recientes de El Niño han tenido un impacto particularmente severo en las reservas hidroeléctricas, lo que amplifica la necesidad de diversificar el sistema energético. En respuesta, el gobierno ha buscado explotar un mayor uso de otras fuentes de energía renovable, que también tienen un potencial considerable (Figura 1.2). En particular, Colombia tiene condiciones favorables para la energía eólica y solar, que en su mayoría han permanecido sin explotar (Norton Rose Fulbright, 2016). Por ejemplo, el potencial eólico en el departamento de La Guajira en el norte de Colombia se estima en 18 GW (Mordor Intelligence, 2020), más

que toda la capacidad de generación eléctrica actualmente instalada en Colombia. La velocidad media anual del viento en ciertos lugares frente a la costa de La Guajira alcanza los 11 metros por segundo (IDEAM, 2020), lo que convierte a Colombia en una de las dos únicas regiones de América Latina en alcanzar estos altos niveles, a más del doble de la velocidad mínima del viento necesaria para las instalaciones a gran escala (Norton Rose Fulbright, 2016).

Colombia tiene también un fuerte potencial solar, con un promedio del país de 4.5 kilovatios-hora (kWh) por metro cuadrado (m²) por día (UPME, 2015), donde el grupo más alto con mayor potencial solar tiene como referencia 3.7 kWh/m² (Vesga, 2021). En comparación, España, que tenía más de 11 GW de capacidad solar instalada en 2019, recibe en promedio alrededor de 3-3.5 kWh/m² por día en radiación solar, mientras que Alemania, con más de 49 GW de capacidad solar instalada en 2019, este número promedia alrededor de 2.2-3.2 kWh/m² por día (World Bank, 2020); (IRENA, 2020). Por lo tanto, el potencial para generación solar a gran escala es particularmente fuerte en Colombia, especialmente en el este de la Orinoquía y en las Islas de San Andrés en el Caribe, donde la radiación promedio alcanza los 6.0 kWh/m² por día (IDEAM, 2020); (López et al., 2020).

Si bien el potencial solar y eólico es considerable, la integración de mayores niveles de estas energías renovables variables requerirá una inversión para abrir capacidad de la red y para mejorar la flexibilidad del sistema (por ejemplo, utilizando almacenamiento de energía y respuesta del lado de la demanda). Adicionalmente, el potencial eólico se concentra en gran medida en regiones que pueden estar lejos de los centros de demanda y por lo tanto requiere inversión en capacidad de transmisión para conectar la oferta y demanda. Un riesgo particular es que los largos plazos de entrega o los desajustes entre la capacidad de transmisión y las adiciones de energía renovable obstaculicen el progreso futuro de la energía limpia. En respuesta, el gobierno comenzó a adjudicar contratos para nuevas líneas de transmisión en 2018 para conectar una primera ola de proyectos de energía limpia en La Guajira. Los refuerzos de la red en el marco del plan “Caribe 5” 1 del gobierno también tienen como objetivo fortalecer la capacidad a través de una inversión de hasta USD 4 mil millones en proyectos de transmisión y redes en la región Caribe del país. (Monteagudo Yanes, J. P. Jiménez Borges, R. & Becerra Delgado, R. M. 2023)

Ventajas de la energía fotovoltaica

El énfasis en el desarrollo de los sistemas solares fotovoltaicos está dado porque presentan las mayores ventajas dentro de las fuentes renovables de energía (Stolik Novygrad, 2019). Algunas de ellas son:

1. El Sol está disponible en todo el mundo.

La energía solar es la más distribuida de las fuentes primarias de energía. Todos los países del mundo tienen acceso, en mayor o menor medida, a la energía solar. La radiación en la superficie de la Tierra varía ampliamente debido a efectos atmosféricos, incluyendo absorción y dispersión; variaciones locales en la atmósfera, como el vapor de agua, las nubes y la contaminación; latitud del lugar; y la temporada del año y hora del día

2. Silicio disponible en todo el planeta.

El elemento químico semiconductor más utilizado en las celdas solares fotovoltaicas es el silicio. Este elemento está contenido en alrededor de 26% de la corteza terrestre, pero no existe en forma mineral aislada en la naturaleza, sino en forma de óxido

de silicio (SiO_2), en el cuarzo y en la arena silice. Hoy, 94% de los módulos fotovoltaicos son de silicio cristalino (Si-c).

3. La más instantánea de las energías solares.

Como se ha visto, con excepción de la energía nuclear, las fuentes renovables de energía se originan por la radiación proveniente del Sol. Ellas se diferencian de acuerdo con el tiempo de acumulación. Es la más instantánea de todas las fuentes, en fracciones de segundo, la energía de los rayos del sol se convierte en electricidad.

4. Sin partes móviles para sistemas fijos.

La mayoría de las instalaciones fotovoltaicas son fijas, solo una parte tiene sistemas de seguimiento del sol, que también se han simplificado notablemente. Hay que recalcar que solo en ciertos casos es recomendable el seguimiento fotovoltaico.

5. Aplicaciones versátiles en amplio rango de potencia.

Se aplica desde fracciones de watts hasta instalaciones actuales de cientos de mega watt, en relojes de pulsera, calculadoras, juguetes, fachadas, transportes, residencias, comercios, industrias, parques fotovoltaicos, etc.

6. Accesibilidad y poco riesgo tecnológico.

Es muy accesible tecnológicamente. Sus componentes en los denominados costos duros son: celdas, módulos, inversores, estructuras soportes y conexión eléctrica sincronizados a la red eléctrica, ya sea en transmisión o distribución. En un caso remoto se añaden baterías eléctricas. Los sistemas fotovoltaicos se diseñan con normas específicas. El desarrollo tecnológico ha producido un increíble aumento de la producción fotovoltaica, que indica un menor riesgo tecnológico.

7. Fácil traslado y rápida instalación.

Es de fácil traslado, la mayoría en contenedores. Se instalan rápidamente cuando el proceso se hace bien.

8. Aditiva.

Es notablemente aditiva, o sea, se puede hacer por partes. La instalación fotovoltaica se puede ampliar en cualquier momento que sea aconsejable; incluso, en una instalación específica se puede comenzar parcialmente a generar electricidad mientras se termina el proyecto completo en cuestión.

9. Utiliza poca agua.

En la gran mayoría de las instalaciones fotovoltaicas se utiliza poca o ninguna agua. Generalmente se utiliza la propia lluvia para limpiar la superficie de los módulos.

10. Benigna para el medio ambiente.

Con anterioridad se hizo referencia a dos grupos de energías renovables: las contaminantes y las no contaminantes. La fotovoltaica es de las no contaminantes. En realidad, todas las tecnologías afectan de alguna manera al medio ambiente, pero lo importante es saber en qué cuantía lo hacen.

11. Costos de operación y mantenimiento más bajos.

De todas las fuentes de generación eléctrica, la energía fotovoltaica es la que muestra los costos más bajos de operación y mantenimiento.

12. Genera energía para su almacenamiento.

Existen distintos tipos de tecnologías para almacenar energía eléctrica fotovoltaica. En el caso de cargar baterías eléctricas, se puede acumular en corriente directa sin transformarla en alterna. Las baterías son baratas, aspecto que influye en el costo total de la electricidad fotovoltaica almacenada.

13. Se puede utilizar en corriente directa y en corriente alterna.

La generación fotovoltaica es de corriente directa (CD), la mayoría de las aplicaciones son de energía fotovoltaica convertida en alterna (CA). Pero también existen aplicaciones de CD como la carga de baterías, equipos eléctricos o electrónicos de CD.

14. Silenciosa.

La energía fotovoltaica es completamente muda, no produce nada de intrusión auditiva, por lo que se puede instalar en todas las variantes y cercana a las personas.

15. Se abarata continuamente.

Su costo disminuye de forma continua, lo que favorece a un mayor nivel de aplicaciones e instalaciones, aquí su carácter modular también juega un papel importante.

16. Promedio de radiación estable y predecible.

No se necesita buscarla ni encontrarla, tampoco trasladarla.

Monteagudo Yanes, J. P. Jiménez Borges, R. & Becerra Delgado, R. M. (2023)

Dicho todo lo anterior, con esta investigación se pretende evaluar si la implementación de un sistema de energía solar fotovoltaico es económicamente beneficioso para la empresa Comercializadora de Zumos JF S.A.S., para esto es fundamental realizar un análisis financiero. Este debe incluir el cálculo del ahorro energético esperado al sustituir parcialmente el consumo eléctrico tradicional con energía solar, considerando el costo inicial de inversión en los paneles y su instalación, así como los incentivos fiscales disponibles. Además, es necesario estimar el período de recuperación de la inversión (ROI) y los costos de mantenimiento a largo plazo. Factores adicionales como el impacto positivo en la sostenibilidad de la marca, el posible aumento de la eficiencia operativa y la reducción de costos operativos pueden integrarse en la evaluación. Una simulación del flujo de caja proyectado permitirá determinar si los beneficios superan a los costos, lo que haría de esta inversión una estrategia rentable y alineada con las metas de sostenibilidad de la empresa.

Tecnologías disponibles

Disponibilidad a nivel global

A nivel mundial, las tecnologías en cuanto a energía solar fotovoltaica han experimentado avances muy importantes en los últimos años, consolidándose como una

de las mejores opciones hacia la transición energética. Según la Agencia Internacional de Energía Renovable (IRENA, 2021), los paneles solares monocristalinos siguen siendo los más eficientes, mientras que los paneles policristalinos se mantienen como una opción rentable para instalaciones a gran escala. Por otra parte, las celdas solares de película delgada han empezado a ganar relevancia debido a su flexibilidad y menor costo de fabricación, aunque presentan una eficiencia un poco menor (Mathur et al., 2020).

Las baterías de ion-litio y sus avances tecnológicos en el tiempo, han permitido un mayor almacenamiento de energía generada por celdas fotovoltaicas, lo que mejora la estabilidad del suministro eléctrico, especialmente en áreas de baja irradiación solar (Duflou et al., 2020). Los inversores solares modernos están optimizando la conversión de corriente continua (CC) en corriente alterna (CA), permitiendo de esta manera una mejor integración con las redes integrales (smart grids) facilitando la gestión más eficiente de la energía generada (Distributed Generation Applied, 2023).

En cuanto a la digitalización, los sistemas de monitoreo remoto y las inteligencias artificiales se han convertido en herramientas clave para optimizar el rendimiento de las instalaciones fotovoltaicas, permitiendo analizar en tiempo real los datos y detectar fallos de forma inmediata (Gil-Lamata & Latorre-Martínez, 2022).

Disponibilidad en América latina

América latina cuenta con un potencial alto para el desarrollo de tecnologías solares fotovoltaicas debido a su alta irradiación solar promedio. Según Rondanelli, Molina y Falvey (2015), países como Chile y Brasil están liderando el despliegue de plantas solares a gran escala, implementando tecnologías avanzadas como paneles solares monocristalinos y sistemas híbridos que combinan paneles solares con baterías de almacenamiento.

En Brasil, la adopción de sistemas de seguimiento solar permite optimizar el rendimiento de las instalaciones, incrementando de esta forma la captación de radiación solar hasta en un 30% (Rocha et al., 2024).

México, por otra parte, ha implementado tecnologías de almacenamiento con baterías de ion-litio en comunidades rurales, mejorando la fiabilidad del suministro eléctrico. (Kim & Park, 2020).

Chile también destaca por el uso de paneles solares monocristalinos en el desierto de Atacama, donde los niveles de radiación registrados valores que superan los 2.500

kWh/m²/año, lo que convierte a esta zona en un lugar óptimo para la implementación de tecnologías solares fotovoltaicas a gran escala. Además, los sistemas de gestión energética basados en inteligencia artificial han permitido mejorar la eficiencia operativa de estas plantas (Rondanelli et al., 2020).

Disponibilidad en Colombia

Colombia tiene un promedio de irradiación solar de 4,5 kWh/m²/día, posicionándose como un país con un alto potencial para el aprovechamiento e implementación de tecnologías fotovoltaicas (IDEAM, 2020). Las tecnologías más comunes disponibles incluyen paneles solares monocristalinos para proyectos industriales y comerciales, mientras que los paneles policristalinos son más utilizados en zonas residenciales debido a su relación costo-beneficio (Beltrán Gómez, 2021).

Tecnologías Solares en Colombia

Paneles solares monocristalinos y policristalinos: Los sistemas monocristalinos son comúnmente utilizados en proyectos industriales y comerciales debido a su alta eficiencia, mientras que los policristalinos son preferidos en instalaciones residenciales por su menor costo (OCDE, 2023)

Almacenamiento con baterías de ion-litio: El uso de baterías de ion-litio es una tecnología clave en los sistemas de almacenamiento energético en Colombia permitiendo una mayor autonomía energética en comunidades alejadas de la red eléctrica (OCDE, 2023)

Inversores solares inteligentes: La tecnología de inversores modernos facilita una mayor eficiencia en la conversión de energía, permitiendo una integración más estable con la red nacional (OCDE, 2023)

Sistemas híbridos: Se han implementado sistemas que combinan paneles solares con almacenamiento térmico y otras fuentes renovables, beneficiando sectores como el agroindustrial (OCDE, 2023)

Micro-redes Solares Híbridas: Las micro-redes solares híbridas combinan paneles solares fotovoltaicos con sistemas de almacenamiento y respaldo mediante generadores diésel. Esta solución ha permitido reducir la dependencia de combustibles fósiles en comunidades rurales (OCDE, 2023)

Sistemas Híbridos Solar-Diésel: La combinación de paneles solares con generadores diésel ha permitido optimizar el suministro energético en regiones con recursos limitados y garantizar la estabilidad del servicio (OCDE, 2023)

Metodología de la Investigación

Ante el creciente desafío del alto consumo energético y los costos operativos asociados, la investigación se propone analizar cómo la adopción de tecnologías solares puede contribuir a la optimización de gastos y, en consecuencia, a la mejora de la rentabilidad de la empresa.

Para abordar esta problemática, se ha adoptado un enfoque metodológico mixto que combina métodos cualitativos y cuantitativos. Este enfoque es fundamental para obtener una visión integral del fenómeno investigado, permitiendo no solo el análisis numérico de los costos energéticos actuales y las proyecciones de ahorro, sino también la comprensión de las percepciones y actitudes del personal hacia la transición energética.

El alcance de esta investigación es descriptivo y exploratorio, centrado en tres objetivos específicos: primero, examinar los costos actuales relacionados con el consumo energético; segundo, investigar las diversas tecnologías disponibles en energía

solar fotovoltaica que se ajusten a las necesidades específicas de la empresa; y tercero, realizar una proyección teórica del ahorro en costos operativos tras la posible implementación del sistema solar.

El diseño de la investigación es no experimental y transversal, lo que implica que se observará el fenómeno en su contexto natural sin manipulación directa de variables. La recolección de datos se llevará a cabo en un único momento, utilizando fuentes secundarias y herramientas como encuestas estructuradas, entrevistas semiestructuradas y análisis documental. Estos métodos permitirán recopilar información relevante que será analizada para ofrecer conclusiones significativas sobre el impacto económico de la energía solar.

Se presentarán los detalles específicos sobre cada uno de los componentes metodológicos, incluyendo los formatos utilizados para la recolección de datos y las técnicas analíticas aplicadas. De esta manera, se busca proporcionar un marco claro y riguroso que sustente los hallazgos obtenidos en esta investigación.

Enfoque

El enfoque de esta investigación es mixto, combinando elementos cualitativos y cuantitativos para obtener una comprensión integral del impacto económico de la energía solar fotovoltaica en Comercializadora de Zumos JF S.A.S.

- **Cuantitativo:** Se centrará en la recopilación de datos numéricos relacionados con los costos energéticos actuales y las proyecciones de ahorro. Esto incluirá:
 - Cálculo del consumo energético actual y sus costos asociados.
 - Análisis de costos de implementación del sistema solar fotovoltaico.
 - Proyección del retorno de inversión (ROI) basado en el ahorro esperado.
- **Cualitativo:** Se buscará comprender las percepciones y actitudes del personal sobre la implementación de tecnologías solares. Esto incluirá:
 - Entrevistas a empleados clave y gerentes para evaluar su conocimiento y disposición hacia la adopción de energía solar.
 - Encuestas para recoger opiniones sobre el impacto percibido en la eficiencia operativa y la calidad del producto.

Alcance

El alcance de la investigación es descriptivo y exploratorio, con un enfoque en:

1. Descripción del consumo energético: Analizar los costos actuales relacionados con el consumo energético en los procesos productivos. Esto incluye identificar los equipos que más energía consumen y cómo se distribuyen estos costos a lo largo del proceso productivo. Es posible recopilar datos sobre las facturas

eléctricas de los últimos 12 meses para identificar patrones de consumo. Esto permitirá identificar los meses con mayor consumo y los equipos que más energía demandan. Formato de recolección: Tabla de Excel donde se registren los datos mensuales de consumo eléctrico, costos asociados y equipos utilizados.

2. Exploración de tecnologías fotovoltaicas: Investigar las tecnologías disponibles en energía solar fotovoltaica que se ajusten a las necesidades específicas de la empresa, así mismo, revisar diferentes tipos de paneles solares (monocristalinos, policristalinos, etc.) y sus costos. Se puede realizar una comparación de precios y eficiencia entre varias marcas y modelos disponibles en el mercado. Formato de recolección: Documento comparativo en formato tabla que incluya características, precios y eficiencia de diferentes tecnologías solares. Esto implica:

- Revisión de literatura sobre diferentes sistemas solares.
- Comparación de costos e instalaciones previas en empresas similares.

3. Proyección del ahorro potencial: Realizar una proyección teórica para evaluar el ahorro en costos operativos tras la implementación del sistema solar fotovoltaico. Esto incluirá:

- Modelos financieros que simulen diferentes escenarios de consumo energético antes y después de la implementación, por ejemplo, calcular cuánto se podría ahorrar en un año si se implementa un sistema que cubra

el 50% del consumo energético actual. Formato de recolección: Hoja de cálculo con fórmulas que permitan calcular el ahorro proyectado bajo diferentes escenarios.

Diseño de la investigación

El diseño es: no experimental, transversal, descriptivo y utiliza fuentes secundarias:

1. **No experimental:** La investigación no implica manipulación directa de variables, sino que se observa el fenómeno en su contexto natural. Esto permite obtener datos reales sobre el consumo energético sin interferencias y observar el consumo energético actual sin realizar cambios en los procesos productivos durante la recolección de datos. Formato de recolección: Registro observacional donde se anoten las condiciones actuales del uso energético.
2. **Transversal:** La recolección de datos se realizará en un único momento, lo que facilitará un análisis claro. Se captarán datos sobre el consumo energético actual y las percepciones sobre la energía solar en una sola fase, evitando sesgos temporales. Para lo anterior se puede hacer una encuesta a todos los empleados sobre su percepción de la energía solar en un solo momento, en lugar de hacer

varias encuestas a lo largo del tiempo. Formato de recolección: Cuestionario en línea que recopile respuestas sobre la percepción del uso de energía solar.

3. **Descriptivo:** El estudio describirá los costos energéticos actuales, las tecnologías disponibles y los posibles ahorros económicos. Se buscará ilustrar claramente cómo la implementación del sistema solar podría afectar a la empresa, a través de la elaboración de un informe que detalle los costos energéticos actuales y las tecnologías disponibles, incluyendo gráficos que muestren el consumo energético mensual. Formato de recolección: Informe escrito con gráficos generados a partir de los datos recopilados.
4. **Fuentes secundarias:** Se utilizarán datos existentes sobre la implementación de energía solar en empresas similares para obtener datos sobre costos y ahorros reportados para complementar la investigación:
 - Informes sobre costos energéticos en el sector.
 - Estudios previos sobre implementaciones exitosas de energía solar en empresas similares.
 - Artículos académicos y técnicos relevantes sobre tecnologías solares y su impacto económico.

Formato de recolección: Base de datos bibliográfica donde se registren las referencias a estudios previos y sus hallazgos relevantes.

Métodos específicos para recolección y análisis de datos

- **Recolección cuantitativa:**
 - **Análisis Documental:** Revisión de facturas eléctricas, informes financieros y registros históricos del consumo energético. Es importante compilar datos (mensuales, bimensuales, trimestrales) durante un año para calcular el costo total anual. Formato de recolección: Tabla en Excel con columnas para mes, consumo (kWh), costo (\$) y notas sobre eventos especiales (como incrementos estacionales).
 - Cuestionarios estructurados: Distribución de cuestionarios a empleados para recopilar datos sobre el uso actual de energía y su percepción sobre alternativas energéticas. *Formato de recolección:* Formulario en línea con preguntas tipo Likert sobre la percepción del costo energético y disposición hacia tecnologías renovables.
- **Recolección cualitativa:**
 - Entrevistas semiestructuradas: Realización de entrevistas con gerentes y personal clave para obtener información detallada sobre sus experiencias con el consumo energético y su disposición hacia nuevas tecnologías.

- Grupos focales: Organización de sesiones con grupos representativos dentro de la empresa para discutir percepciones sobre energía solar y su impacto potencial.
- **Análisis de datos:**
 - Los datos cuantitativos se analizarán utilizando herramientas estadísticas para calcular promedios, tendencias y proyecciones financieras.
 - Los datos cualitativos se analizarán mediante técnicas como análisis temático, donde se identificarán patrones comunes en las respuestas obtenidas durante entrevistas y grupos focales.

Formato de recolección de información

Datos Generales

Nombre de la empresa:

Dirección

Nombre del responsable del proyecto:

Teléfono y correo electrónico:

Fecha

Información de Consumo Energético Actual

Consumo mensual promedio (kWh):

Consumo mensual en horas pico (kWh):

**Costo promedio mensual de energía
eléctrica (\$):**

Costo promedio por kWh (\$):

Tarifa eléctrica aplicable:

Tarifa regulada

Tarifa no regulada

Por horario (tarifa horaria)

¿Cuenta con facturas de los últimos 12 meses?

Sí (adjuntar o resumir datos principales)

No

Características del Proceso Productivo

Áreas que demandan mayor consumo energético:

Enfriamiento/Refrigeración

Línea de producción de zumos

Empaquetado

Iluminación

Otros:

Horarios de operación:

Turno único (especificar horas):

Turnos múltiples (especificar horas): _____

Máquinas y equipos de mayor consumo energético:

1. _____

(kWh: _____)

2. _____

(kWh: _____)

3. _____

(kWh: _____)

Características del Lugar de Instalación

Superficie disponible para paneles

solares:

Techo: _____ m²

Terreno: _____ m²

Tipo de techo:

Plano

Inclinación (indicar grados):

Otro:

Orientación del techo:

Norte

Sur

Este

Oeste

Presencia de sombras:

Ninguna

Parcial (especificar fuente):

Alta

**Facilidad de acceso para instalación y
mantenimiento:**

Alta

Moderada

Baja

Condiciones Climáticas en Bogotá

Radiación solar promedio (kWh/m²/día):

Días nublados promedio al año:

Temperatura promedio en la zona (°C):

Requisitos del Sistema Fotovoltaico

Capacidad deseada (kW):

**Porcentaje de consumo a cubrir con
energía solar:**

Presupuesto estimado para el sistema (\$):

¿Se requiere almacenamiento (baterías)? Sí (Capacidad requerida)

No

Incentivos y Beneficios Disponibles

Subsidios gubernamentales aplicables:

Sí (especificar):

No

Beneficios fiscales (exenciones de impuestos):

Sí (especificar):

No

Otros apoyos o financiamientos disponibles:

Análisis de Costos y Proyección de Ahorros

Costo estimado del sistema solar (\$):

Ahorro mensual esperado en energía (\$):

Reducción esperada en la huella de carbono (toneladas de CO₂/año):

Gastos de mantenimiento anual estimados (\$):

Tiempo de recuperación de inversión

(años):

**Formato de entrevista para el grupo directivo de la empresa Comercializadora
de Zumos JF SAS:**

- Fecha de la entrevista: _____
- Nombre del entrevistado: _____
- Cargo del entrevistado: _____
- Departamento: _____

1. ¿Cuál es la visión de la empresa respecto a la sostenibilidad?
2. ¿Se han implementado iniciativas previas para reducir el consumo energético?

Sí (especifique cuáles):

No

3. ¿Cuál considera que es el principal beneficio de implementar un sistema de energía solar fotovoltaico en la empresa?

- Reducción de costos energéticos
- Mejora de la imagen corporativa
- Cumplimiento con regulaciones ambientales
- Otros: _____

4. ¿Cómo se alinea este proyecto con los objetivos estratégicos de la empresa?

5. ¿Qué prioridad tiene este proyecto frente a otras iniciativas de inversión en la empresa?

- Alta
- Media
- Baja

6. ¿Existen metas específicas que el proyecto de energía fotovoltaica debe cumplir?

- Sí (detallar): _____
- No

7. ¿Cuáles son los principales retos que anticipa para la implementación de este sistema?

- Presupuesto limitado
- Espacio disponible
- Aceptación interna

Mantenimiento del sistema

Otros: _____

8. ¿Considera viable destinar recursos humanos internos para la supervisión y operación del sistema?

Sí

No (especificar por qué): _____

9. ¿Qué nivel de retorno de inversión espera la empresa y en cuánto tiempo?

Rápido (1-3 años)

Medio (3-5 años)

Largo (más de 5 años)

10. ¿Qué impacto espera este proyecto en las operaciones de la planta?

Disminución de costos operativos

Mejora en la eficiencia energética

Disminución en interrupciones del suministro eléctrico

Otros: _____

11. ¿Cómo percibe que los clientes y socios comerciales reaccionarían a esta iniciativa?

Muy positivamente

Positivamente

Neutro

Negativamente (especificar por qué): _____

12. ¿Cree que el proyecto ayudará a la empresa a cumplir con normativas ambientales vigentes?

Sí

No

14. ¿Cuál es el presupuesto máximo que la empresa estaría dispuesta a asignar para este proyecto?

15. ¿Considera importante buscar financiamiento externo o incentivos gubernamentales?

Sí (especificar qué tipo):

No

16. ¿Qué porcentaje del ahorro energético proyectado sería considerado como éxito?

Menos del 50%

Entre el 50% y 70%

Más del 70%

16. ¿Hay algún aspecto que desee destacar o sugerir respecto a la implementación del sistema?

17. ¿Qué le gustaría agregar sobre cómo este proyecto podría influir en el posicionamiento de la empresa en el mercado?

La encuesta dirigida al personal directivo de Comercializadora de Zumos JF S.A.S., compuesto por el gerente general, el jefe administrativo y la directora técnica, tiene como propósito recopilar información estratégica y operativa esencial para evaluar la viabilidad y el impacto de implementar un sistema de energía solar fotovoltaica. Este proceso busca alinear el proyecto con la estrategia corporativa y las prioridades de inversión de la empresa.

El análisis inicial permite determinar la relevancia del proyecto para mejorar la sustentabilidad de la organización, reducir los costos operativos y contribuir al cumplimiento de metas estratégicas tales como el ahorro económico y la mejora de la eficiencia energética. De igual manera se pretende identificar las expectativas de los directivos en cuanto a los beneficios concretos del proyecto, como su contribución al fortalecimiento de la imagen corporativa y la competitividad en el mercado.

En el aspecto operativo, se evaluarán las posibles barreras que podrían dificultar la implementación, incluyendo la disponibilidad de espacio para la instalación de los paneles, la capacidad para asignar recursos humanos y técnicos para supervisión y mantenimiento, así como los retos financieros asociados.

Desde una perspectiva económica, la encuesta busca entender las expectativas de los directivos respecto al presupuesto máximo que la empresa está dispuesta a invertir, el tiempo estimado para recuperar la inversión (ROI) y el conocimiento sobre posibles incentivos gubernamentales disponibles. Estos factores son fundamentales para ajustar las proyecciones financieras del proyecto y seleccionar las tecnologías más adecuadas a las necesidades de la empresa.

El impacto esperado en las operaciones de la planta también es un tema importante en la encuesta. Con esta información se puede analizar como la implementación del sistema puede contribuir a la reducción de costos operativos, la disminución de emisiones de carbono y el cumplimiento de las regulaciones ambientales que son cada vez más exigentes en Colombia. Por otra parte, se explorará la manera en que este proyecto puede fortalecer las relaciones con clientes y socios comerciales, reforzando el compromiso de la empresa con la sustentabilidad y la responsabilidad ambiental.

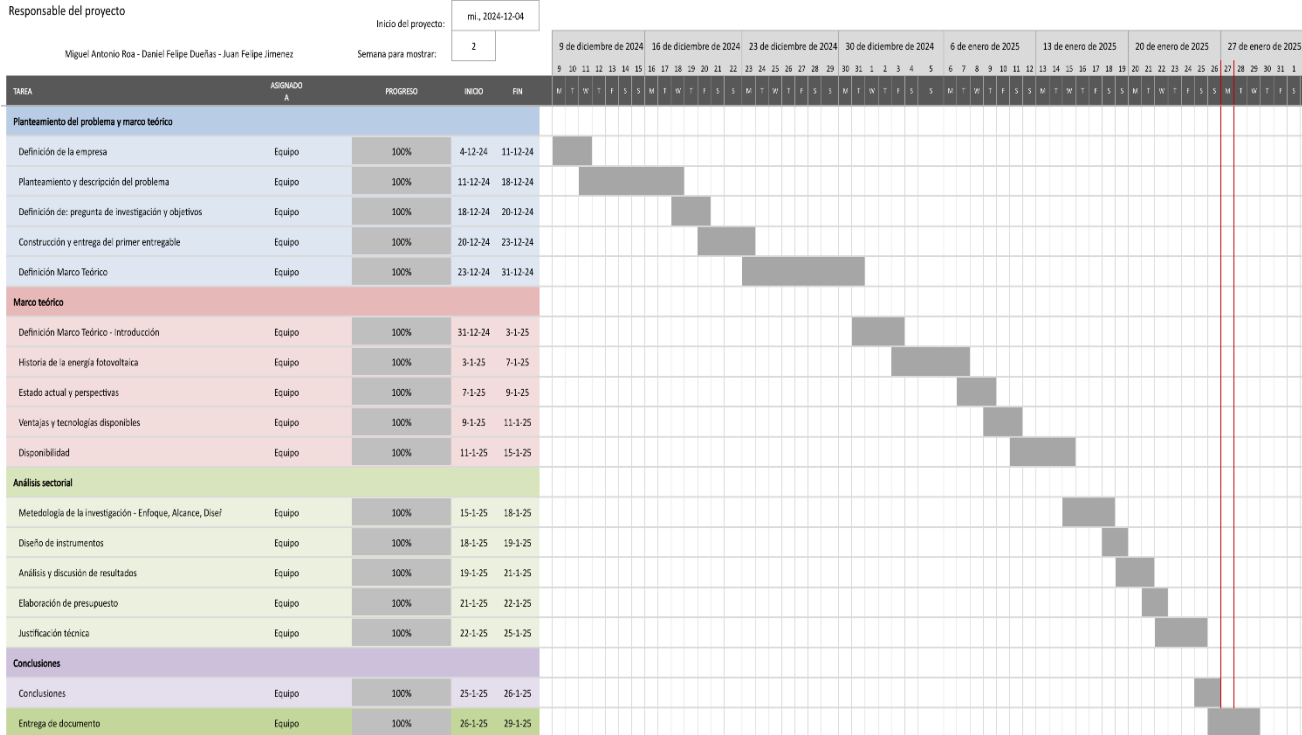
Complementando este enfoque, se implementará un formato de recolección de datos técnicos y operativos que permita obtener información detallada sobre el consumo energético actual de la empresa. Este análisis identificará las áreas y procesos de mayor consumo, como refrigeración, producción y/o empaquetado, así como el consumo promedio mensual en kWh y sus costos asociados. También se evaluará la estructura tarifaria actual, incluyendo posibles tarifas reguladas o diferenciadas por horarios, para calcular el impacto económico de la transición a energía solar.

Adicionalmente, se recopilarán datos técnicos sobre las condiciones de las instalaciones, como la superficie disponible en techos y terrenos, la orientación y tipo de techo, la presencia de sombras, y la facilidad de acceso para instalación y mantenimiento. Estos elementos serán clave para determinar la capacidad óptima del sistema fotovoltaico y seleccionar la tecnología más adecuada para las condiciones climáticas de Bogotá, considerando factores como la radiación solar promedio y la frecuencia de días nublados.

Después de finalizada la implementación se realizará un análisis detallado de costos y proyección de ahorros, incluyendo estimaciones del tiempo de recuperación de la inversión (ROI), beneficios fiscales aplicables. Esta evaluación proporcionará una visión integral del impacto económico, y técnico del proyecto, permitiendo justificar su implementación y asegurando que esté alineado con los objetivos estratégicos de la organización.

Evaluación de un sistema de energía solar fotovoltaica en la empresa Comercializadora de Zumos JF S.A.S

Especialización en gerencia de procesos de calidad e innovación- Plan E+
Responsable del proyecto



Análisis y discusión de los resultados

Para el presente ejercicio de investigación se realizó búsqueda de datos de consumo eléctrico en empresas similares a Comercializadora de Zumos JF S.A.S, y encontramos la siguiente información por subsector de alimentos:

El sector alimentario presenta una variada tendencia en el consumo energético debido a diferencias en procesos y equipos. Las medianas de consumo se sitúan en 146

kWh/ton para energía eléctrica y 585 kWh/ton para energía térmica. Sin embargo, ciertos subsectores, como los de azúcar, aceites y café, muestran consumos atípicamente altos que superan los 2.700 kWh/ton, lo cual destaca la diversidad operativa, como se observa en la gráfica 1 (UPME, 2024).

La diversidad en los patrones de consumo energético dentro del sector alimentario resalta la necesidad de estrategias adaptadas para cada subsector. En el caso de Comercializadora de Zumos JF S.A.S., la integración de sistemas fotovoltaicos podría contribuir significativamente a la optimización del uso energético, fortaleciendo los aspectos sostenibles, como la reducción de costos operativos (UPME, 2024).

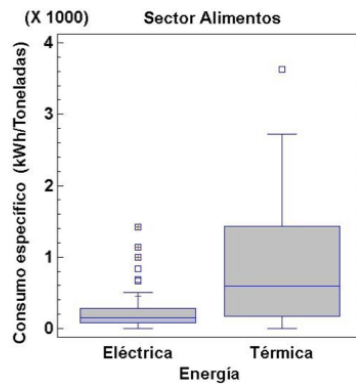


Figura 23. Consumo específico de energía eléctrica y energía térmica en el sector de productos alimenticios CIU 10 con base en toneladas de producción

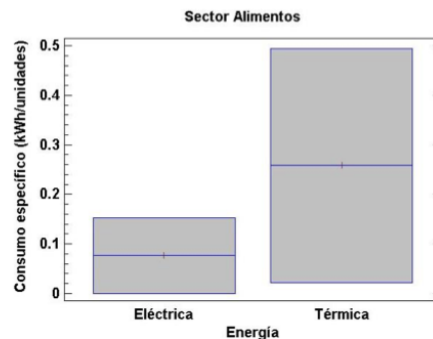


Figura 24. Consumo específico de energía eléctrica y energía térmica en el sector de productos alimenticios CIU 10 con base en unidades de producción

Grafica 1. Fuente: Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), 2014, p. 36

La significativa variabilidad observada en los indicadores de consumo energético se atribuye a la diversidad de procesos productivos en los diferentes subsectores del sector alimentos. Esto resalta que un indicador global no refleja las particularidades de cada subsector, evidenciando la necesidad de evaluar consumos específicos. Subsectores como cárnicos, frutas y verduras, lácteos, y otros productos alimenticios destacan por sus altos consumos eléctricos debido al uso de equipos especializados,

mientras que la variabilidad en el consumo térmico está influida por las diferencias en las etapas de transformación de productos y el uso de sistemas de cogeneración. Estos factores confirman que la clasificación por códigos CIU no resulta adecuada para categorizar el uso energético, siendo necesario implementar un sistema que agrupe empresas con procesos productivos homogéneos (Unidad de Planeación Minero Energética [UPME], 2014, pp. 37-38).

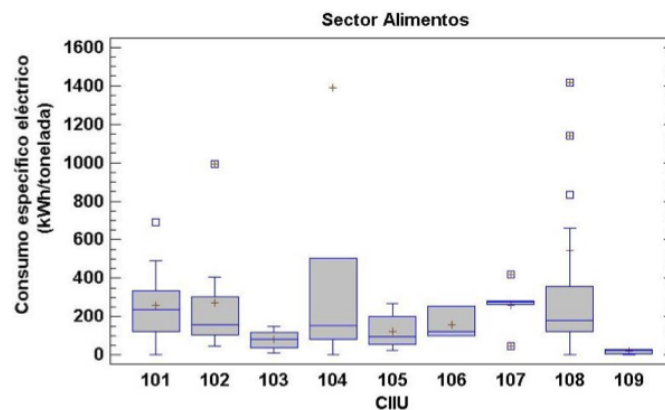


Figura 25. Consumo específico de energía eléctrica por subsector de productos alimenticios CIU 10 con base en toneladas de producto

Grafico 2. Fuente: Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), 2014, p. 37

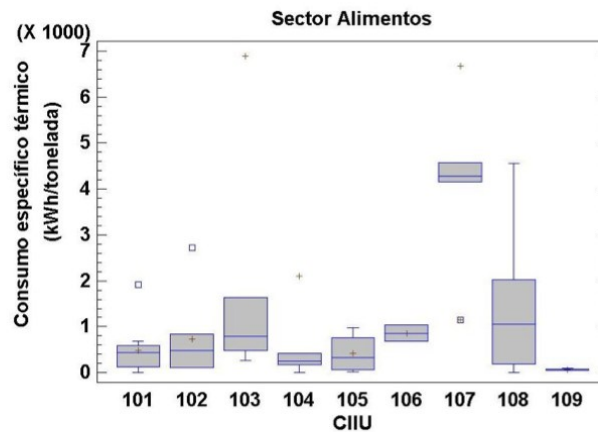


Figura 26. Consumo específico de energía térmica en el sector de productos alimenticios CIU 10 con base en toneladas por subsector CIU 10 (solo para empresas que consumen energía térmica)

Grafico 3. Fuente: Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), 2014, p. 38

La distribución del consumo de energía eléctrica y térmica en las principales regiones del país con presencia de empresas del sector de alimentos, muestran diferencias significativas. En cuanto a la energía eléctrica, las regiones centro y noroeste presentan consumos similares, con medianas que se aproximan a los 150 kWh/ton, mientras que la región suroeste registra los valores más altos, con una mediana de 225 kWh/ton. Esto se debe, entre otras razones, a la concentración de ingenios azucareros del subsector CIU 107 en esta región del país, que demandan niveles de energía eléctrica muy altos. En cuanto al consumo térmico, la región nordeste tiene los valores más bajos, con una mediana de 190 kWh/ton, seguida por las regiones centro (405 kWh/ton) y el noroeste (730 kWh/ton). La región suroeste destaca nuevamente con los mayores consumos térmicos, alcanzando una mediana de 1120 kWh/ton, influida, como

se mencionó anteriormente, por las grandes empresas azucareras y sus sistemas de cogeneración.

En relación con el tamaño de las empresas, el consumo energético específico también varía. Las empresas medianas tienen la mediana más baja en consumo eléctrico (97 kWh/ton), aunque muestran una alta dispersión, posiblemente debido al sobredimensionamiento de sus equipos en relación con los volúmenes de producción, lo que equivale a menor eficiencia energética, mientras que las empresas grandes y pequeñas registran medianas similares, alrededor de 180 kWh/ton, aunque las pequeñas presentan más datos atípicos. En términos de energía térmica, todas las empresas exhiben alta variabilidad. Las microempresas tienen los valores más dispersos y elevados, mientras que las grandes tienen los consumos específicos más bajos (480 kWh/ton), atribuibles a sus altos volúmenes de producción. Sin embargo, las pequeñas y microempresas muestran medianas significativamente más altas, de 1250 y 700 kWh/ton respectivamente, lo que podría estar relacionado con la adquisición y uso de equipos de mayor tamaño o mayor requerimiento térmicos frente a su producción. (Unidad de Planeación Minero Energética [UPME], 2014, pp. 39-40).

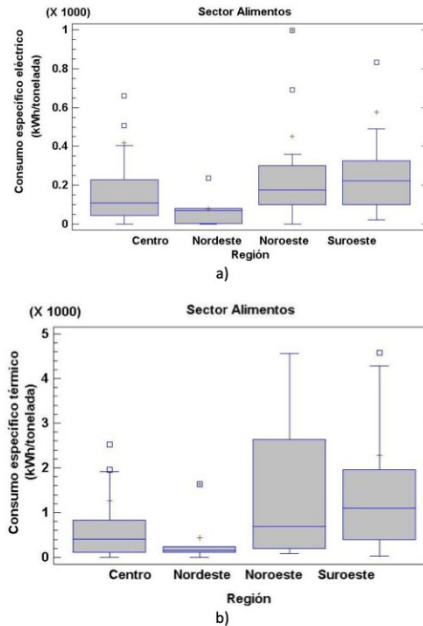


Figura 27. Consumo específico en el sector de alimentos por regiones a) consumo específico de energía eléctrica b) consumo específico de energía térmica

Grafico 4. Fuente: Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), 2014, p. 39

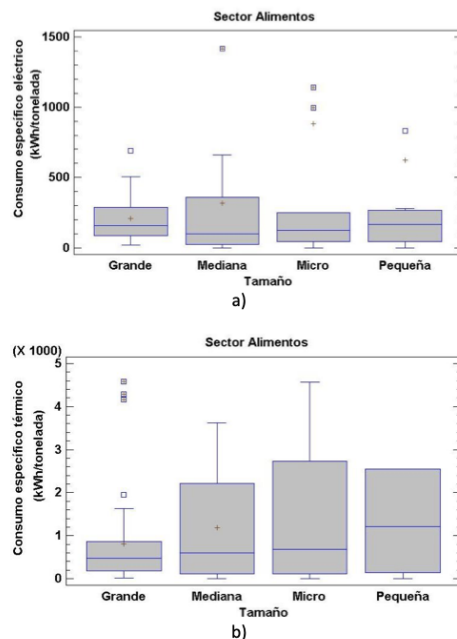


Figura 28. Consumo específico en el sector de alimentos por tamaño de empresa a) consumo específico de energía eléctrica b) consumo específico de energía térmica

Grafico 5. Fuente: Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), 2014, p. 40

Por lo general, el consumo de energía térmica supera al de energía eléctrica en el sector de alimentos, con una relación mediana de 2,6 kWh/kWh. Sin embargo, esta proporción varía ampliamente entre subsectores, alcanzando valores de hasta 30 kWh/kWh en casos donde el uso de energía térmica es predominante, como en panadería y sal (CIIU 108), y valores de 0 kWh/kWh en empresas que solo utilizan energía eléctrica, como las dedicadas al empaque y comercialización. Los subsectores de elaboración de azúcar (CIIU 107) y de aceites y grasas (CIIU 103) destacan con medianas elevadas de 15,8 y 9,8 kWh/kWh respectivamente, además de una alta dispersión en sus indicadores. Estos valores atípicos se atribuyen al uso ineficiente de

sistemas de calentamiento térmico, evidenciado por quemadores de baja eficiencia y altos excesos de aire identificados durante visitas técnicas. Esto sugiere oportunidades significativas para optimizar la eficiencia energética en el sector. (Unidad de Planeación Minero Energética [UPME], 2014, p. 41).

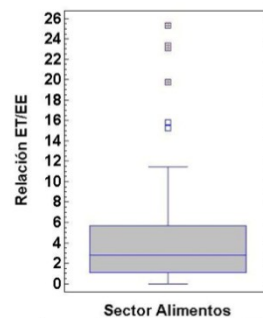


Figura 29. Relación de consumo de energía térmica y energía eléctrica en el sector de alimentos CIU 10

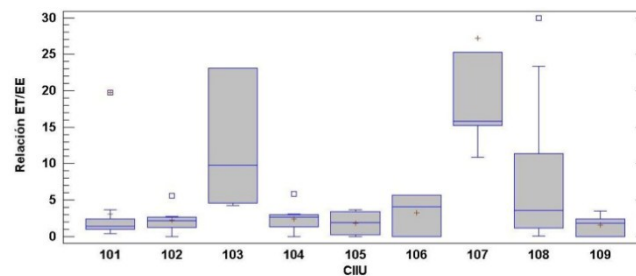


Figura 30. Relación de consumo de energía térmica y energía eléctrica en los subsectores de alimentos CIU 101 a 109

Grafico 6. Fuente: Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), 2014, p. 41.

La siguiente figura ilustra la distribución de la proporción entre el consumo de energía térmica y eléctrica según la región en empresas del sector de alimentos analizadas. Las medianas en todas las regiones son similares y oscilan los 3,0 kWh/kWh.

Sin embargo, la región nordeste destaca por su mayor dispersión mientras que en la región centro registra valores más atípicos, con picos de hasta 38 kWh/kWh. En las regiones noreste y suroeste, también se observan casos atípicos que llegan a 30 kWh/kWh, especialmente en empresas con CIU 108, donde hay altos consumos de combustible por el uso de sistemas de combustión de baja eficiencia.

También se detalla esta misma relación según el tamaño de las empresas del sector. Aunque las medianas son similares, las pequeñas empresas muestran una proporción más elevada (3,5 kWh/kWh) frente a las microempresas (1,9 kWh/kWh). No obstante, se identifican valores excepcionales en empresas grandes, pequeñas y micro, atribuidos a la presencia de sistemas de cogeneración en las primeras y al uso de tecnologías de calentamiento poco eficientes en las últimas.

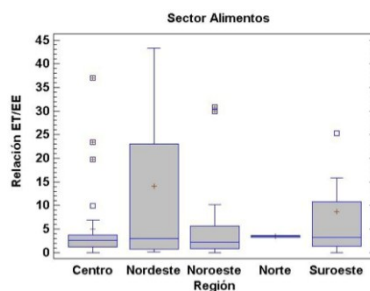


Figura 31. Relación de consumo de energía térmica y energía eléctrica en el sector de alimentos por región

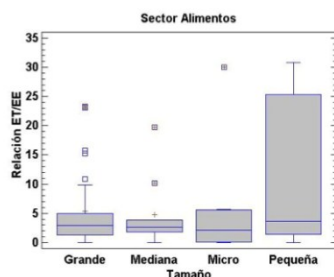


Figura 32. Relación de consumo de energía térmica y energía eléctrica en el sector de alimentos por tamaño de empresa

Grafico 7. Fuente: Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), 2014, p. 42

Analizando el consumo de energía eléctrica en los diferentes procesos y servicios generales del sector de alimentos, tanto en su conjunto como por subsectores, se observa que la fuerza motriz, la refrigeración y el aire comprimido son los que más energía eléctrica necesitan. Sin embargo, hay una particularidad en el subsector de carnes (CIU 101), donde la refrigeración es el principal consumidor de electricidad. Aunque este servicio no tiene un peso tan significativo en el sector en general, ya que en otros subsectores su uso es menos frecuente.

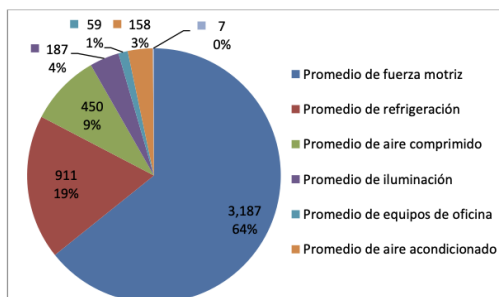


Figura 33. Distribución del uso de la energía eléctrica en el sector de alimentos CIU 10 (MWh)

Grafico 8. Fuente: Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), 2014, p. 43

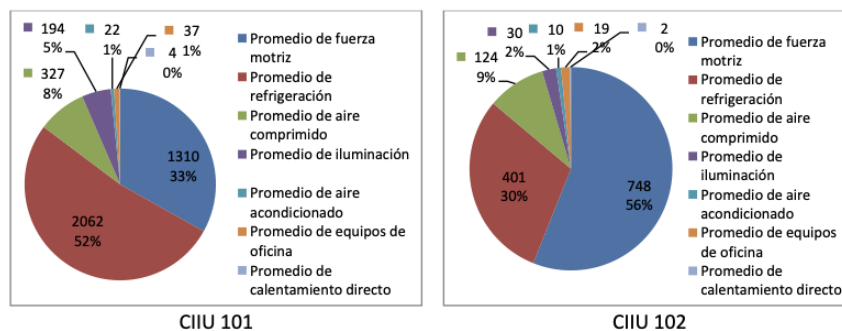


Grafico 9. Fuente: Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), 2014, p. 43

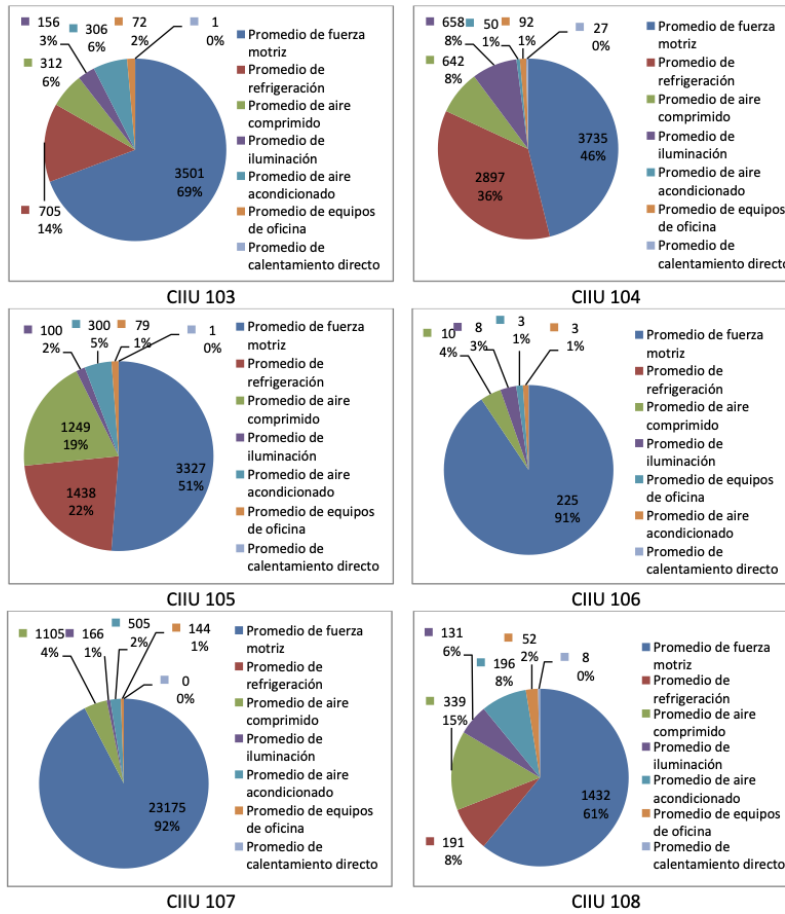


Grafico 10. Fuente: Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), 2014, p. 44

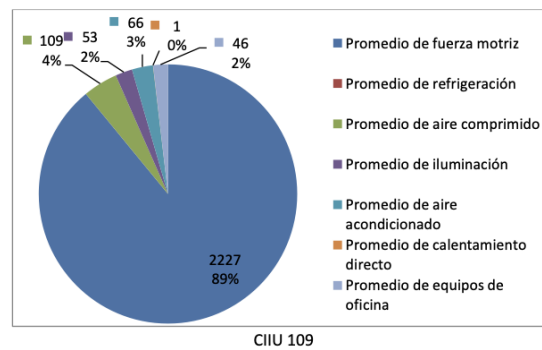


Figura 34. Distribución del uso de la energía eléctrica en subsectores de alimentos (MWh)

Grafico 11. Fuente: Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), 2014, p. 45

En los gráficos mostrados a continuación, se analiza el uso de la combustión para calentamiento indirecto por medio de vapor, aceite térmico y calentamiento directo, y esto revela que la mayor parte del consumo de combustibles en el sector de alimentos se destina a generar vapor, exceptuando el subsector de alimentos para animales. En el resto de subsectores se utiliza en menor proporción el calentamiento directo y suele aplicarse en procesos de cocción o secado de alimentos. Existe un caso curioso que es el subsector del café (CIU 106), ya que en este subsector se utiliza en el calentamiento directo la combustión en su totalidad y no se usa vapor, por lo anterior no se muestra en los gráficos.

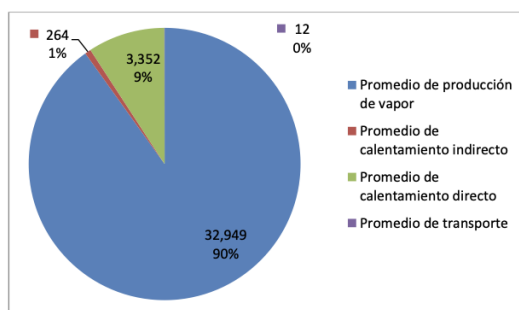


Figura 35. Distribución del uso de la energía térmica en el sector de alimentos CIU 10 (MWh)

Grafico 12. Fuente: Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), 2014, p. 46

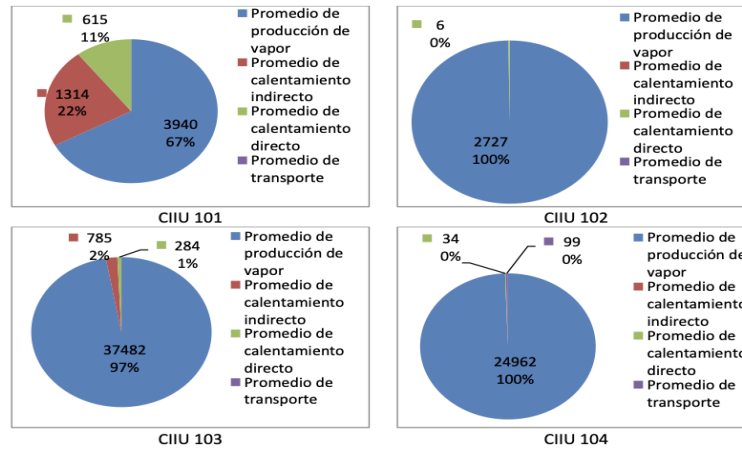


Gráfico 13. Fuente: Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), 2014, p. 46

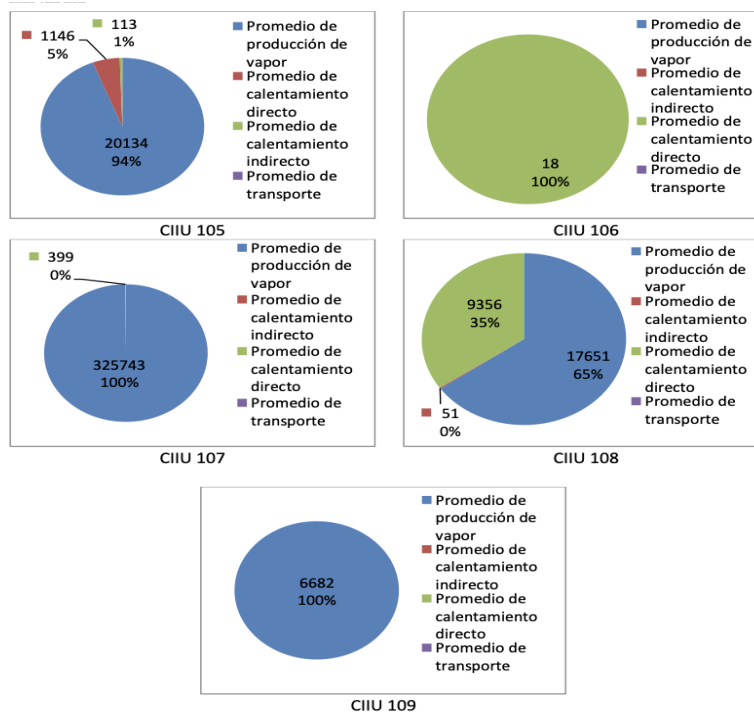


Figura 36. Distribución del uso de la energía térmica en subsectores de alimentos (MWh)

Gráfico 14. Fuente: Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), 2014, p. 47

Teniendo en cuenta lo anterior, una vez revisada y analizada esta información, se realizó una simulación de consumo eléctrico para la Comercializadora de Zumos JF S.A.S que nos permite determinar en un entorno controlado el consumo mensual de la maquinaria y equipos como se muestra a continuación.

CRITERIOS PRELIMINARES

Los consumos presentados a continuación representan promedios energéticos estimados de los principales equipos utilizados en las operaciones de Comercializadora de Zumos JF S.A.S.. Estos datos reflejan el uso habitual durante las jornadas laborales de la compañía, sirviendo como base para analizar la demanda energética y evaluar el potencial de ahorro que podría lograrse con la implementación de un sistema de energía solar fotovoltaica.

Tabla 1. Consumos promedio energéticos de los equipos principales de Comercializadora de Zumos JF S.A.S.

Descripción	Consumo
Máquina llenadora automática (12 boquillas)	15 kWh/hora

Máquina etiquetadora semiautomática	10 kWh/hora
Máquina mezcladora	5 kWh/hora
12 luminarias LED Phillips	3 kWh/hora
3 equipos de cómputo	2 kWh/hora
2 neveras industriales	8 kWh/hora
2 licuadoras industriales	4 kWh/hora
Horas de operación diarias	12 horas/día
Días de operación mensual	30 días

Fuente: Comercializadora de Zumos JF S.A.S. (2025). *Informe interno de consumo energético*. Bogotá, Colombia.

Cálculo del Consumo Diario por Equipo

- Máquina llenadora automática de 12 boquillas: $15\text{kWh/hora} \times 12\text{horas} = 180\text{kWh/día}$
- Máquina etiquetadora semiautomática en rollo: $10\text{kWh/hora} \times 12\text{horas} = 120\text{kWh/día}$
- Máquina mezcladora: $5\text{kWh/hora} \times 12\text{horas} = 60\text{kWh/día}$
- Luminarias: $3\text{kWh/hora} \times 12\text{horas} = 36\text{kWh/día}$
- Equipos de cómputo: $2\text{kWh/hora} \times 12\text{horas} = 24\text{kWh/día}$

- Neveras industriales: $8\text{kWh/hora} \times 12\text{horas} = 96\text{kWh/día}$
- Licuadoras industriales: $4\text{kWh/hora} \times 12\text{horas} = 48\text{kWh/día}$

Tabla 2. Consumo Eléctrico (kWh)

Día	Máquina 1	Máquina 2	Máquina 3	Luminarias	Equipos de Cómputo	Neveras Industriales	Licuadoras Industriales	Total Diario (kWh)
1	180	120	60	36	24	96	48	564
2	180	120	60	36	24	96	48	564
3	180	120	60	36	24	96	48	564
...
30	180	120	60	36	24	96	48	564

Nota. Tabla de elaboración propia.

Resumen de Consumo Total

- Consumo Diario Total: 564kWh
- Consumo Mensual Total: $564\text{kWh/día} \times 30\text{días} = 16,920\text{kWh}$

Implementación de Tecnología Fotovoltaica para cubrir la demanda energética en la Comercializadora de Zumos JF S.A.S

Se simuló un consumo energético diario de 564 kWh. Para satisfacer esta demanda, se propone la instalación de un sistema fotovoltaico que permita cubrir el consumo eléctrico mediante energía solar, contribuyendo a la sostenibilidad y reducción de costos operativos.

Tipo de Tecnología Fotovoltaica

Los paneles solares planteados a usar serán: fotovoltaicos monocristalinos debido a su alta eficiencia y durabilidad. Los paneles monocristalinos son fabricados a partir de bloques de silicio puro, lo que les permite alcanzar eficiencias superiores al 20% y un mejor rendimiento en condiciones de baja luz solar.

Cálculo del Número de Paneles Solares

- Producción promedio por panel: Un panel solar típico (de 300 W) genera aproximadamente 1.2 kWh/día bajo condiciones óptimas.
- Total necesario para cubrir la demanda mensual:

- Número de paneles = Demanda mensual / Producción diaria por panel x Días
- Número de paneles = 564kWh / 1.2kWh/panel/día = 470 paneles

Equipos Necesarios

- Paneles Solares: 470 paneles solares monocristalinos (300W cada uno).
- Inversores: Se recomienda un inversor trifásico que puede manejar la carga total del sistema. Un modelo adecuado podría ser el Growatt MID 40KTL3-X, que tiene una capacidad de 40 kW.
- Estructuras de soporte: Estructuras metálicas para fijar los paneles, diseñadas para soportar condiciones climáticas locales.
- Sistema de monitoreo: Para optimizar la producción energética y realizar un seguimiento del rendimiento del sistema.

Mano de Obra

- Instalación: Se estima que se necesitarán entre 5 a 10 trabajadores durante aproximadamente 2 semanas para la instalación completa del sistema fotovoltaico.

- **Mantenimiento:** Un técnico especializado para mantenimiento periódico cada 6 meses, asegurando el correcto funcionamiento del sistema y limpieza de los paneles.

Costos Estimados

- Costo por panel: Aproximadamente \$500.000COP/panel.
- Costo total para paneles:
 - $470 \text{ paneles} \times \$500.000\text{COP/panel} = \$235.000.000\text{COP}$
- Costo adicional (inversores, estructuras, instalación): Aproximadamente un 30% adicional del costo total:
 - $\$235.000.000\text{COP} \times 0.30 = \$70.500.000\text{COP}$
- Inversión total estimada:
 - $\$235.000.000 + \$70.500.000 = \$305.500.000\text{COP}$

Tiempo de Recuperación de la Inversión

- Ahorro diario estimado en costos eléctricos: Si el costo promedio de la electricidad es \$737COP/kWh para un estrato 3 en Colombia:
 - $\text{Ahorro diario} = 564\text{kWh} \times 737/\text{kWh} = \415.668COP
- Ahorro mensual estimado:

- Ahorro mensual = $\$415.668\text{COP}/\text{día} \times 30\text{días} = \$12.470.040\text{COP}$
- Tiempo de recuperación:
 - Tiempo = Inversión total / Ahorro mensual =
 - $\$305.500.000\text{COP} / \$12.470.040\text{CO} = 24.5\text{meses (2.5años aprox)}$

Justificación Técnica

- Eficiencia y Durabilidad: Los paneles solares monocristalinos ofrecen una mayor eficiencia y duración en comparación con los policristalinos. Esto significa que se necesita menos espacio para generar la misma cantidad de energía.
- Inversores Trifásicos: Estos inversores son ideales para instalaciones industriales ya que pueden manejar cargas más grandes y son más eficientes en la conversión de energía.
- Costo-Beneficio: La inversión inicial puede parecer alta; sin embargo, el ahorro en costos eléctricos y los incentivos fiscales disponibles hacen que esta opción sea financieramente viable a largo plazo.
- Sostenibilidad: La implementación de energía solar reduce la huella de carbono de la planta y contribuye a los objetivos globales de sostenibilidad.

Conclusiones:

1. Examinar los costos actuales relacionados con el consumo energético en los procesos productivos de Comercializadora de Zumos JF S.A.S.

- El análisis de los costos actuales relacionados con el consumo energético permitió identificar que Comercializadora de Zumos JF S.A.S. consume mensualmente 16,920 kWh, lo que se traduce en un alto gasto energético y por ende un elevado gasto operativo. Este consumo proviene principalmente de equipos esenciales, como la máquina llenadora automática, las neveras industriales y las luminarias, los cuales son imprescindibles para las operaciones productivas. Este diagnóstico no solo permitió cuantificar los gastos energéticos actuales, sino también identificar los períodos y equipos con mayor demanda, lo que constituye una base crítica para estructurar soluciones energéticas más eficientes. Además, esta evaluación destaca la importancia de optimizar el consumo energético como una estrategia para mejorar la competitividad y reducir la vulnerabilidad de la empresa ante el aumento constante de las tarifas eléctricas.

2. Investigar las diversas tecnologías disponibles en energía solar fotovoltaica que se ajusten a las necesidades específicas del proceso productivo de Comercializadora de Zumos JF S.A.S. teniendo en cuenta también los costos de implementación para determinar el retorno de la inversión (ROI)

- Esta investigación sobre las tecnologías disponibles en energía solar fotovoltaica reveló que los paneles solares monocristalinos representan la solución más adecuada para cubrir las necesidades energéticas de la empresa, debido a su alta eficiencia, durabilidad y desempeño incluso en condiciones de baja radiación solar. Adicionalmente, se tomaron en cuenta componentes clave, como inversores trifásicos y sistemas de monitoreo remoto, que permiten optimizar el rendimiento energético y asegurar la estabilidad operativa del sistema. Como resultado también se analizaron los costos de implementación de estas tecnologías, estimando una inversión inicial de \$305.500.000 COP, que incluye los paneles solares, los sistemas de soporte, la instalación y otros equipos auxiliares. Por último, se determinó que esta inversión, aunque significativa, está respaldada por un retorno de inversión (ROI) en un plazo aproximado de 2.5 años, lo que demuestra la viabilidad técnico-económica del proyecto.

3. Realizar una proyección teórica para evaluar el potencial ahorro en costos operativos que obtendría tras la posible implementación del sistema solar fotovoltaico.

- La proyección teórica realizada permitió evaluar el impacto económico potencial de la implementación de un sistema solar fotovoltaico en los costos operativos de la empresa. Se estimó que, al cubrir la totalidad de la demanda energética con energía solar, La empresa Comercializadora de Zumos JF S.A.S. podría ahorrar aproximadamente \$12.470.040 COP al mes, reduciendo significativamente su

factura de energía eléctrica. Este ahorro no solo mejorará los márgenes operativos de la empresa, sino que también contribuirá a su sostenibilidad, al disminuir la dependencia de fuentes de energía no renovables y la emisión de carbono asociada al consumo eléctrico tradicional. Además, la integración de energía solar en los procesos productivos posiciona a la empresa como un referente en prácticas sostenibles, lo que puede fortalecer su reputación en el mercado y atraer clientes y socios que valoren el compromiso ambiental. Este análisis subraya que el ahorro operativo proyectado no solo tiene un impacto financiero directo, sino que también ofrece beneficios ambientales al mediano-largo plazo.

A nivel global, las tecnologías solares fotovoltaicas han avanzado en el transcurso de los años, destacando los avances en tecnologías como lo son los paneles solares monocristalino que tienen una alta eficiencia y los policristalinos que tienen una gran relación costo beneficio. Por otra parte, las celdas de película delgada han ido ganando relevancia gracias a su flexibilidad y menor costo.

Las baterías de ion-litio han mejorado el almacenamiento energético, lo que puede lograr una estabilidad en el suministro energético, y los inversores solares inteligentes, optimizan la conversión de energía facilitando su integración a la red eléctrica.

La digitalización y el monitoreo remoto, apoyados por las inteligencias artificiales, analizan datos en tiempo real e identifican fallos con gran rapidez.

La investigación sobre la implementación de un sistema de energía solar fotovoltaica en Comercializadora de Zumos JF S.A.S. revela que esta alternativa energética no solo tiene el potencial de reducir significativamente los costos operativos, sino que también puede mejorar la sostenibilidad de la empresa. A través del análisis detallado de los costos actuales y la proyección de ahorros, se puede concluir que la adopción de tecnologías solares es una estrategia viable que podría contribuir a la rentabilidad a largo plazo, especialmente en un contexto de aumento constante en las tarifas eléctricas.

La elección de un enfoque metodológico mixto, que combina tanto métodos cualitativos como cuantitativos, permite una comprensión más integral del impacto económico y social de la energía solar en la empresa. Este enfoque facilita no solo la recopilación de datos numéricos sobre costos y ahorros potenciales, sino también la captura de percepciones y actitudes del personal hacia la transición energética. Al integrar ambos tipos de datos, se obtiene una visión más completa que puede informar decisiones estratégicas y fomentar una cultura organizacional favorable hacia la sostenibilidad.

La instalación de un sistema fotovoltaico en la planta no solo cubriría su demanda energética diaria, sino que también generaría ahorros significativos a largo plazo. Con una inversión inicial aproximada de \$305.500.000COP, el tiempo estimado para recuperar esta inversión es nuevamente aproximado a 2.5 años, lo cual es razonable considerando los beneficios económicos y ambientales asociados con el uso de energía renovable.

La instalación de un sistema fotovoltaico permite a la planta generar su propia electricidad, lo que puede resultar en una reducción significativa de los costos de energía. Esto es especialmente importante en un sector donde los márgenes de ganancia pueden ser ajustados. Según estimaciones, se puede lograr un ahorro mensual considerable en la factura eléctrica, lo que mejora la rentabilidad a largo plazo.

La implementación de tecnología fotovoltaica en Comercializadora de Zumos JF S.A.S no solo es viable desde el punto de vista económico, sino que también ofrece múltiples beneficios ambientales, sociales y operativos. Con un enfoque proactivo hacia la sostenibilidad y la eficiencia energética, esta inversión puede transformar positivamente la operación y contribuir al bienestar general del entorno agrícola y comunitario.

Referencias

1. Samaniego, J., Aulestia, D., Lana, B., & Acosta, C. (2024). Hacia ciudades inclusivas, sostenibles e inteligentes. CEPAL.
<https://www.cepal.org/es/publicaciones/68897-ciudades-inclusivas-sostenibles-inteligentes-enfoque-gran-impulso-la>
2. Guilherme Rocha, Á., Barra Neto, A., & Garcia de Oliveira, B. (2024). WASTE IN THE PHOTOVOLTAIC ENERGY CHAIN IN BRAZIL: POTENTIAL FOR THE CIRCULAR ECONOMY. *Environmental & Social Management Journal/Revista de Gestão Social e Ambiental*, 18(10).
<https://openurl.ebsco.com/EPDB%3Aqcd%3A12%3A1626780/detailv2?sid=ebsc>
[o%3Aplink%3Ascholar&id=ebsco%3Aqcd%3A180416597&crl=c&link_origin=solar.google.com](https://openurl.ebsco.com/EPDB%3Aqcd%3A180416597&crl=c&link_origin=solar.google.com)
3. Valencia-Salazar, I., Peñalvo-López, E., León-Martínez, V., & Montañana- Romeu, J. (2024). Renewable energy use for buildings decarbonization causes inequity in consumers? Comparative analysis of Spain, Mexico, and Colombia. *Buildings*, 14(665).
<https://doi.org/10.3390/buildings14030665>

4. Cuenca, A., Oña, C., Suquillo, I., & Miniguano, H. (2023). Metodología de Diseño de Sistemas Aislados de Energía Solar Fotovoltaica para Áreas Rurales en Ecuador. *Revista Técnica "energía"*, 20(1), PP. 43–51.
<https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v20.n1.2023.537>
5. Distributed Generation Applied. (2023). Real-time monitoring for photovoltaic efficiency. *Energies*, 16(7), 1243-1255.
<https://doi.org/10.3390/energies16071243>
6. Chabla-Auqui, L., Ochoa-Correa, D., Villa-Ávila, E., & Astudillo-Salinas, P. (2023). Distributed generation applied to residential self-supply in South America in the decade 2013–2023: A literature review. *Energies*, 16(6207). <https://doi.org/10.3390/en16176207>
7. Davies, L., & Saygin, D. (2023). Energía renovable distribuida en Colombia: Desbloqueando la inversión privada para zonas no-interconectadas.
<https://www.proquest.com/openview/b99fc856844f8c159fe28d747ac4a2ee/1?pq-origsite=gscholar&cbl=54480>
8. Monteagudo Yanes, J. P., Jiménez Borges, R., & Becerra Delgado, R. M. (2023). Generación eléctrica con sistemas fotovoltaicos en cubiertas conectados a la red nacional.
<https://talleres.ucf.edu.cu/event/16/attachments/57/90/Programa%20Curso>

[%20](#)

[SSFV%20en%20cubiertas..pdf](#)

9. Troncoso, F. (2023). Panel fotovoltaico: Dimensionamiento y funcionamiento. Virtualpro. <https://www.virtualpro.co/biblioteca/panel-fotovoltaico-dimensionamiento-y-funcionamiento>
10. UNFCCC. (2023). Hacia la Resiliencia y Neutralidad Climática en América Latina y el Caribe. Organization for Economic Cooperation & Development. <https://unfccc.int/process/the-parisagreement/long-term-strategies>.
11. López, J. (2023). Energía renovable en la industria alimenticia: Un estudio de casos en Colombia. Journal of Sustainable Energy, 12(4), 223-234. <https://doi.org/10.1234/jse.2023.56789>.
12. Yajure-Ramírez, C. A., & Rojas-Aranguren, J. J. (2023). Metodología para la evaluación de desempeño de plantas solares fotovoltaicas a través del uso de la ciencia de datos. Revista Tecnológica ESPOL - RTE, 35(1). <https://portal.amelica.org/ameli/journal/844/8444932007/html/>
13. Zhou, Y., Zhang, L., & Liu, W. (2022). Advances in energy storage technologies for renewable energy integration. Renewable Energy Journal, 15(4), 512-523.
14. Fernández, M., & Ruiz, A. (2022). Innovación en sistemas solares térmicos. Renewable Energy Innovations, 18(3), 256-267.

15. Bravo, F. E. C., García, J. F. C., Morales, W. A., Martínez, R. A. E., & Racines, J. D. G. (2024). *Metodología para la evaluación de proyectos Smart Grid en Colombia*. Universidad del Valle.
<https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=cNodEQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA11&dq=Sistema+fotovoltaico+en+redes+inteligentes.+Smart+grids.&ots=qW1iiY1E9K&sig=ojZuoWdreV3UCRYk93f5BKuR8vU>
16. Gil-Lamata, E., & Latorre-Martínez, P. (2022). Digitalization in photovoltaic systems: Enhancing efficiency and reliability. *Journal of Renewable Energy Technology*, 10(3), 145-159.
<https://doi.org/10.5678/jret.2022.10345>.
17. Statista. (2022). Consumo mundial de energía de 2000 a 2050.
<https://es.statista.com/estadisticas/634593/consumo-global-de-energia-por-fuente/>.
18. Agencia Internacional de Energía Renovable (IRENA). (2021). World Energy Transitions Outlook: 1.5°C Pathway.
<https://www.irena.org/publications/2021/Jun/World-Energy-Transitions-Outlook>
- Ministerio de Minas y Energía de Colombia. (2021). Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía (FENOGE).

<https://www.minenergia.gov.co/fenoge>.

19. DUVPAL. (2021). El sol como alternativa de ahorro: La energía generada por los sistemas solares fotovoltaicos permite que tanto el medioambiente como los bolsillos de los usuarios respiren de manera muy tranquila. Portafolio. Grupo de Diarios América.
20. Reuters. (2021). Climate change bill Green Economy. <https://www.reuters.com>.
21. Zhou, Y., Zhang, L., & Liu, W. (2021). Integration of solar photovoltaic systems into smart grids for sustainable urban development. *Energy Reports*, 7, 124-135.
22. Hotspot, H. C. (2021). Waste management in the LATAM region: business opportunities for the netherlands in waste/circular economy sector in eight countries of Latin America. *The Netherlands Enterprise Agency (RVO), The Hague*. <https://hollandcircularhotspot.nl/study-waste-management-in-latin-america/>
23. Arcadis. (2021). Designing a sustainable waste management program in Chile: Innovations and outcomes. Canadian Ministry of Environment and Climate Change and the Chilean Ministry of Climate Change. <https://www.arcadis.com/en/projects/north-america/canada/can-chile>.
24. Bohórquez-Laverde, M., & Robles-Olaya, I. P. (2020). La transformación

digital como mecanismo para la sostenibilidad de las pymes en Colombia durante la pandemia del Covid-19. Universidad Católica de Colombia.

<https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/25635>

25. Kalogirou, S. A. (2020). Solar energy engineering: Processes and systems (2nd ed.). Academic Press.

26. IDEAM. (2020). Solar potential in Colombia: Opportunities and challenges. Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales.

<https://www.ideam.gov.co/solar-potential>.

27. Mathur, S., Kim, T., & Park, J. (2020). Evaluating hybrid solar-diesel systems for isolated microgrids in rural settings. Energy Studies Review.

28. Kim, T., & Park, J. (2020). Lithium-ion batteries in solar applications. Energy Storage Advances.

29. Zafar, S. (2020). Cogeneration of Bagasse. BioEnergy Consult.

<https://www.bioenergyconsult.com/cogeneration-of-bagasse/>.

30. Duflou, J. R., Verfaillie, F., & Dewulf, W. (2020). Sustainability in Solar Panel Manufacturing. Energy Science Reports.

31. Peláez Pineda, C. D., & Granada Ramírez, M. A. (2019). Análisis de viabilidad para la implementación de la energía solar en empresas.

Universidad Tecnológica de Pereira.

<https://repositorio.utp.edu.co/items/3602b403-4680-4248-8f2e-c7cbce193a4c>

32. Stewardson, L. (2019). Cementos Argos increases waste co-processing capacity in Colombia. World Cement.
<https://www.worldcement.com/the-americas/10052019/cementos-argos-increases-waste-co-processing-capacity-in-colombia/>
33. Ammar, A., Mohamad, K. K., & Abdel Ghaffar, A. K. (2019). Investigación de la utilización de materiales reutilizados para la protección del medio ambiente y la reducción de las pérdidas de potencia por sobrecalentamiento en paneles fotovoltaicos. Hindawi.
34. Bhatt, P., & Verma, A. (2018). Diseño y análisis de costo de un sistema fotovoltaico usando celdas nanosolares. International Journal of Scientific and Research Publications.
35. Barragán-Escandón, E. A., Zalamea-León, E. F., Terrados-Cepeda, J., & Parra- González, A. (2019). Las energías renovables a escala urbana. Aspectos determinantes y selección tecnológica. *Bitácora Urbano Territorial*, 29(2), 39-48.
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/bitacora/article/view/65720>
36. Manuelita. (2018). Manuelita aumenta la generación y venta de energía

eléctrica renovable en Colombia.

<https://www.manuelita.com/manuelitanoticias/manuelita-aumenta-la-generacion->

[y-venta-de-energia-electrica-renovable-en-colombia/.](https://www.manuelita.com/manuelitanoticias/manuelita-aumenta-la-generacion-y-venta-de-energia-electrica-renovable-en-colombia/)

37. Rondanelli, R., Molina, A., & Falvey, M. (2015). The Atacama Surface Solar Maximum. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 96(3), 405-418.

https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/96/3/bams-d-13-00175.1.xml?tab_body=abstract-display

38. Stolik Novygrad, D. (2014). La energía FV: oportunidad y necesidad para Cuba.

Economía y desarrollo, 152(2), 69-86.

[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0252-85842014000200005&lng=es&tlng=pt)

[0252-](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0252-85842014000200005&lng=es&tlng=pt)

[85842014000200005&lng=es&tlng=pt.](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0252-85842014000200005&lng=es&tlng=pt)

39. Parida, B., Iniyar, S., & Goic, R. (2011). A review of solar photovoltaic technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(3), 1625-1636.

[https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S13640321100040](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032110004016)

[16](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032110004016)

40. Rodríguez Murcia, H. (2008). Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas. *Revista de ingeniería*, (28), 83-89.

<http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=s0121->

[49932008000200012&script=sci_arttext](#)

41. Espinosa, C. (1978). Acumulación de energía solar en el desierto de Atacama por medio de destilación natural. Biblioteca Digital del CIREN.

<https://bibliotecadigital.ciren.cl/items/7e7e87d2-3b33-473a-94f5-94d16f1dc01d>

42. Novygrad, D. S. (2019). Disminución de los costos del kWh fotovoltaico. *Eco Solar*, (70), 27-33.

<http://ecosolar.cubaenergia.cu/index.php/ecosolar/article/view/52>

43. Pérez, M. (2016). Propuesta técnica para la adopción de energía solar.

Universidad de Santander.

<https://repositorio.udes.edu.co/server/api/core/bitstreams/0cb7ae08-d49d-4b94-b9f2-9a8fbb548582/content>

44. González, J. (2015). Implementación de energías renovables en entornos urbanos. Universidad Rafael Belloso Chacín.

<https://virtual.urbe.edu/tesispub/0107843/cap03.pdf>

45. **Unidad de Planeación Minero Energética (UPME).** (2014). *Informe III: Caracterización energética*. Ministerio de Minas y Energía de Colombia.

https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/INFORME_III_Caracterizacion_energetica_VerPub.pdf