

ISSN 2590 - 5929

RIDING

Revista de investigaciones, desarrollo e investigación en ingenierías

2023-Volumen 7, número 1



GREIP
GRUPO DE INVESTIGACION
EN RESPONSABILIDAD, INNOVACION
Y PRODUCTIVIDAD



ESCUELA DE INGENIERÍA DE
PRODUCCIÓN

RIDING

Revista de investigaciones, desarrollo e investigación en ingenierías

Número 1, volumen 7, año 2023

INSTITUTO UNIVERSITARIO DE LA PAZ

Ing. OSCAR ORLANDO PORRAS ATENCIA. PhD.

Rector

Ing. ANGÉLICA MARÍA CERVANTES ORDOÑEZ. Mag.

Directora de la Escuela de Ingeniería de Producción

Ing. JULIÁN CAMILO GÓMEZ GUARÍN. Mag.

Líder del grupo de Investigación GREIP

REVISTA DE INVESTIGACIONES, DESARROLLO E
INNOVACIÓN EN INGENIERÍAS

RIDING

Ing. GISEL ANDREA OVIEDO CORREDOR. Mag.

Editora

RIDING

Revista de investigaciones, desarrollo e investigación en ingenierías

Número 1, volumen 7, año 2023

INSTITUTO UNIVERSITARIO DE LA PAZ

COMITÉ EDITORIAL

Ing. Angélica María Cervantes Ordóñez. Mag.
MVZ. Carlos Augusto Vasquez Rojas. Mag.
Ing. Edwin Alexander Velazco Rozo. PhD.
Ing. Julián Camilo Gómez Guarín. Mgtr.
Ing. Gisel Andrea Corredor Oviedo. Mag.
Ing. Wilmar Martínez Becerra. Esp

SOPORTE TÉCNICO

Ing. Sandra Lisbeth Castro Ariza

Sitio en línea:

<https://revistas.unipaz.edu.co/index.php/RIDING>

CONTENIDO

- *El concepto de biorrefinería en la transición energética: una revisión del estado del arte.*
- *Análisis de los procesos y la productividad: caso estudio en la producción de muffins.*
- *Gestión de la demanda de energía eléctrica usando energías renovables: caso de estudio en una vivienda en Popayán, Cauca.*
- *Evaluación de la influencia de la concentración y el tipo de catalizadores ácido y base sobre la producción del biodiesel proveniente del aceite de la fritura de pollo.*
- *Energía Fotovoltaica - Autogeneración de Energía Eléctrica para una Vivienda en Barrancabermeja.*
- *Producción sostenible desde la mirada de la economía sostenible, la producción limpia y la logística inversa.*

El concepto de biorrefinería en la transición energética: una revisión del estado del arte

The biorefinery concept in the Colombian context: a review of the state of the art

Mateus Calderón Karen Vanessa¹
Karen.mateus@unipaz.edu.co

Velasco Rozo Edwing Alexander¹
Edwin.velasco@unipaz.edu.co

Vargas Montañez Omar Jair¹
Omar.vargasm@unipaz.edu.co

Instituto Universitario de la Paz, Escuela de Ingeniería de Producción, Grupo de Investigación en Reingeniería, Innovación Y Productividad, GREIP (1)

Recibido: abril 17 de 2023 – Aceptado: junio 14 de 2023

Resumen

Los biocombustibles líquidos brindan una de las pocas opciones para reemplazar los combustibles fósiles a corto y mediano plazo. Tienen el potencial de ofrecer ahorros de gases de efecto invernadero y seguridad energética. Si la producción de biocombustibles se proyecta a largo plazo de forma similar a la producción de combustibles fósiles, la diversidad de biocompuestos intermedios y subproductos que pueden obtenerse de forma paralela a los biocombustibles podrían en conjunto dar lugar al concepto de biorrefinería. Teniendo en cuenta esto, la meta de esta revisión es realizar un análisis del estado del arte respecto al concepto de biorrefinería, discriminando aspectos fundamentales como los fundamentos, los tipos de materia prima, los principales productos, los esquemas de transición de las refinerías tradicionales a este nuevo concepto, y los distintos procesos biotecnológicos al interior de una biorrefinería.

Palabras clave: biodiésel, bioetanol, biomasa, transformación química, economía circular, química verde.

Abstract

Liquid biofuels provide one of the few options to replace fossil fuels in the short to medium term. They have the potential to offer greenhouse gas savings and energy security. If the production of biofuels is projected in the long term in a similar way to the production of fossil fuels, the diversity of intermediate biocomposites and by-products that can be obtained in parallel to biofuels could together give rise to the concept of biorefinery. Taking this into account, the goal of this review is to carry out an analysis of the state of the art regarding the biorefinery concept, discriminating fundamental aspects such as the foundations, the types of raw material, the main products, the transition schemes from traditional refineries to this new concept, and the different biotechnological processes inside a biorefinery.

Keywords: biodiesel, bioethanol, biomass, chemical transformation, circular economy, green chemist

1. INTRODUCCIÓN

El siglo XXI está presenciando una gran demanda de reservas fósiles junto con una rápida reducción de las materias primas de petróleo fácilmente accesibles y económicamente [1]. La demanda energética actual no

se satisface con fuentes de combustibles fósiles, lo que expone al mundo a riesgos geopolíticos. Además, las preocupaciones con respecto a la seguridad de la cadena de suministro y los impactos ambientales han resultado en un cambio cada vez mayor de las políticas energéticas globales para buscar tecnologías alternativas y fuentes sostenibles de energía, materiales, productos químicos y

productos de valor agregado. [2] Recientemente, la sociedad ha reconocido la necesidad de desarrollar una economía basada en recursos renovables y se han comenzado a financiar diversas actividades de I+D para lograr este objetivo. [3] Sin embargo, la generación de bioproductos basados en cadenas de suministro sostenibles plantea grandes desafíos para una economía basada en el medio ambiente. La forma más sencilla de proporcionar una cadena de suministro sostenible es mediante el empleo de materias primas de biomasa renovable, que es la única opción sostenible para sustituir los recursos de combustibles fósiles, como fuentes de compuestos orgánicos en una escala de tiempo relativamente corta y con un suministro ilimitado [4]. Todos estos factores han reforzado la necesidad de investigación sobre la producción de productos básicos derivados de la biomasa producidos de manera sostenible. El concepto de biorrefinería considera el uso de biomasa como materia prima de bajo costo para las industrias química y biológica. La descripción más utilizada de biorrefinería es una definición adoptada por la Tarea 42 de Bioenergía de la Agencia Internacional de Energía [5]. Establece que la biorrefinación es el procesamiento sostenible de la biomasa en un espectro de productos comercializables y energía. En otras palabras, la biorrefinería es un término utilizado para definir instalaciones industriales que abarcan una amplia gama de tecnologías combinadas en las que la biomasa se transforma y convierte, de manera sostenible, en una amplia gama de productos de valor agregado, lo que lleva a similitudes directas con las petrolrefinerías de hoy. Siguiendo esta idea, el objetivo de las futuras biorrefinerías es la extracción de productos químicos de alto valor presentes en la biomasa, como agentes saborizantes, fragancias y nutraceuticos y, en el siguiente paso, el procesamiento de polisacáridos, lignina y proteínas derivados de la biomasa hacia bioderivados, materiales, combustibles y otras mercancías [6].

En este contexto, el propósito de este trabajo es realizar un primer acercamiento hacia la determinación del estado del arte en torno al concepto de biorrefinería, discriminando aspectos fundamentales como los fundamentos, los tipos de materia prima, los principales productos, los esquemas de transición de las refinerías tradicionales a este nuevo concepto, y los distintos procesos biotecnológicos al interior de una biorrefinería.

2. METODOLOGÍA

El análisis del concepto de biorrefinería en la

transición energética se realizó mediante una revisión sistemática de la literatura dividida en dos etapas principales: heurística (búsqueda y compilación de material bibliográfico) y hermenéutica (interpretación de la literatura encontrada, construcción del marco teórico y publicación). Se encontró un total de 90.900 resultados, los cuales se redujeron a 35 bajo ciertos criterios de filtrado.

A. Heurística

Se utilizó el navegador Google Académico para la revisión de la literatura que se enfocó en tres temas: concepto de biorrefinería, procesos de biorrefinería y productos. Las fuentes bibliográficas empleadas incluyeron: artículos de investigación y artículos de revisión. Como mecanismo de apoyo para delimitar la información a una más actual, se centró la búsqueda en un intervalo de tiempo que comprende los últimos quince años (2008-2023). Las consultas se realizaron en inglés debido a que es el idioma predominante en documentación científica.

B. Hermenéutica

1) Interpretación

Una vez finalizada la fase heurística descrita, se aplicaron medidas de inclusión y exclusión de documentos cuyo contenido no fuese relevante haciendo uso de la lectura crítica. Los criterios usados fueron los siguientes.

2) Lectura de títulos

La lectura de los títulos de cada uno de los artículos permitió la exclusión de textos que se desviaban del tema de interés y omitir la duplicidad de documentos, reduciendo así su número a 80. Se seleccionaron los artículos en cuyos títulos se encontrarán al menos tres de las palabras clave propuestas para cada secuencia de búsqueda.

3) Lectura de resúmenes

Se llevó a cabo la lectura del *abstract* (resumen) de los 80 documentos seleccionados previamente. De estos, se escogieron aquellos artículos en los que se muestra un desarrollo experimental o una revisión sistemática de la literatura relacionada. De esta manera se redujo el número de documentos a 68.

4) Lectura completa de los artículos

Mediante la lectura completa de los 68 documentos se

escogieron aquellos que mostraran información directamente relacionada con los temas de interés.

5) Construcción teórica

Al finalizar todas las etapas de filtrado mencionadas previamente, se logró obtener un total de 35 artículos. Se procedió a la realización de un análisis de los principales procesos de biorrefinería y se realizó una discusión y comparación de estas. Dentro de los 35 artículos, se encontraron datos y conceptos que introducen de forma clara al tema de biorrefinería y que muestran un gran panorama de desarrollo industrial encaminado a la química verde y la economía circular que dan la posibilidad de realizar la presente revisión.

3. EL CONCEPTO DE BIOREFINERÍA

A. Fundamentos

Entre las diversas definiciones de biorrefinería, la más exhaustiva fue realizada recientemente por la Tarea 42 de bioenergía de la IEA "Biorrefinerías" [5]: "La biorrefinería es el procesamiento sostenible de la biomasa en un espectro de productos comercializables y energía". El concepto de biorrefinería abarca una amplia gama de tecnologías capaces de separar los recursos de biomasa (madera, pastos, maíz...) en sus componentes básicos (carbohidratos, proteínas, triglicéridos...) que pueden convertirse en productos de valor añadido, biocombustibles y productos químicos. Una biorrefinería es una instalación (o red de instalaciones) que integra procesos y equipos de conversión de biomasa para producir biocombustibles de transporte, energía y productos químicos a partir de la biomasa. Este concepto es análogo a la refinería de petróleo actual, que produce múltiples combustibles y productos derivados del petróleo. Un enfoque con visión de futuro es la conversión gradual de gran parte de la economía/industria global en una sociedad sostenible de base biológica que tenga bioenergía, biocombustibles y productos de base biológica como pilares principales y biorrefinerías como base. Tal sustitución del petróleo por biomasa requerirá algunos cambios radicales en la producción actual de bienes y servicios: las ciencias biológicas y químicas desempeñarán un papel de liderazgo en la generación de industrias futuras y se deben generar nuevas sinergias entre las ciencias biológicas, físicas, químicas y técnicas desarrolladas [5], [7].

La producción eficiente de biocombustibles para el transporte es vista como uno de los principales factores de promoción para el desarrollo futuro de las biorrefinerías [8]. De hecho, el sector del transporte está

creciendo constantemente y la demanda de (bio)combustibles renovables, que solo pueden obtenerse de la biomasa, crece en consecuencia. Como consecuencia, el principal desafío para el desarrollo de la biorrefinería parece ser la producción eficiente y rentable de biocombustibles para el transporte, mientras que a partir de los biomateriales y productos bioquímicos coproducidos se pueden obtener beneficios económicos y ambientales adicionales.

Los principales productos de base biológica se obtienen hoy en día a partir de la conversión de biomasa en productos básicos como almidón, aceite y celulosa. Además, en la industria alimentaria se producen y utilizan productos químicos como el ácido láctico y los aminoácidos. Otros productos de base biológica ya disponibles comercialmente incluyen adhesivos, compuestos de limpieza, detergentes, fluidos dieléctricos, colorantes, fluidos hidráulicos, tintas, lubricantes, materiales de embalaje, pinturas y revestimientos, papel y cartón, rellenos plásticos, polímeros, disolventes y adsorbentes. Algunos ejemplos de industrias de biorrefinería y biomasa no convencional que ya son competitivas en el mercado se reportan en la literatura [3], [9], [10], junto con algunas plantas piloto y de demostración existentes.

La mayoría de los biocombustibles y bioquímicos existentes se producen actualmente en cadenas de producción únicas y no dentro de un concepto de biorrefinería, y generalmente requieren materiales que compiten con la industria de alimentos y piensos. Por lo tanto, su explotación está limitada. Por el contrario, los cultivos lignocelulósicos reducen la competencia por la tierra fértil, ya que pueden cultivarse en terrenos no aptos para cultivos agrícolas. Además, en comparación con los cultivos convencionales que pueden contribuir solo con una pequeña fracción de la biomasa en pie anterior, las biorrefinerías basadas en materias primas lignocelulósicas pueden depender de mayores rendimientos de biomasa por hectárea, ya que toda la cosecha está disponible como materia prima [11].

En cuanto a la planta de conversión, se debe minimizar el consumo de recursos energéticos no renovables durante el procesamiento de la biorrefinería, junto con los impactos ambientales relacionados, mientras se debe maximizar el uso completo y eficiente de la biomasa. Esta perspectiva ecológica requiere:

- análisis de tres ciclos agrícolas y forestales importantes, a saber, carbono (respiración, fotosíntesis y descomposición de materia orgánica), agua (precipitación, evaporación, infiltración y escorrentía) y nitrógeno (fijación de N, mineralización, desnitrificación) y sus interdependencias [12],

- evaluaciones de rendimiento del sistema a escala de planta [8],
- evaluaciones de impacto ambiental realizadas mediante la evaluación del ciclo de vida [13].

Se espera que las industrias de biorrefinería se desarrollen como complejos industriales dispersos capaces de revitalizar las zonas rurales. A diferencia de la refinería de petróleo, que casi invariablemente significa plantas muy grandes, lo más probable es que las biorrefinerías abarquen una amplia gama de instalaciones de diferentes tamaños. En este contexto, varias bioindustrias pueden combinar sus flujos de materiales para alcanzar una utilización completa de todos los componentes de la biomasa: el residuo de una bioindustria (por ejemplo, la lignina de una planta de producción de etanol lignocelulósico) se convierte en insumo para otras industrias, dando lugar a sistemas bioindustriales integrados. Además, los recursos de biomasa están disponibles localmente en muchos países y su uso puede contribuir a reducir la dependencia nacional de los combustibles fósiles importados.

B. Tipos de materia prima

La biomasa se sintetiza a través del proceso fotosintético que convierte el dióxido de carbono atmosférico y el agua en azúcares. Las plantas utilizan el azúcar para sintetizar los materiales complejos que se denominan genéricamente biomasa. Una etapa importante en el sistema de biorrefinería es la provisión de un suministro renovable, consistente y regular de materia prima. Es posible que se requiera un procesamiento inicial para aumentar su densidad energética a fin de reducir los costos de transporte, manejo y almacenamiento.

Las materias primas renovables a base de carbono para la biorrefinería provienen de cuatro sectores diferentes:

1. agricultura (cultivos dedicados y residuos),
2. silvicultura,
3. industrias (residuos y sobras de procesos) y hogares (residuos sólidos municipales y aguas residuales),
4. acuicultura (algas y algas marinas).

Se puede hacer una distinción adicional entre aquellas materias primas que provienen de cultivos dedicados y residuos de actividades agrícolas, forestales e industriales, que pueden estar disponibles sin preocupaciones previas. Las principales materias primas de biomasa se pueden agrupar en 3 amplias categorías: carbohidratos y lignina, triglicéridos y residuos orgánicos mixtos.

1) Carbohidratos y lignina

Los carbohidratos (de almidón, celulosa y hemicelulosa) son moléculas de carbono, hidrógeno y oxígeno y son, con mucho, el componente de biomasa más común que se encuentra en las materias primas de las plantas. Los azúcares de "monosacárido" de una sola molécula de seis carbonos ($C_6H_{12}O_6$) incluyen glucosa, galactosa y manosa, mientras que los azúcares de 5 carbonos más comunes ($C_5H_{10}O_5$) son la xilosa y la arabinosa. Los dos cultivos de azúcar más importantes son la caña de azúcar y la remolacha azucarera que, junto con el maíz (un cultivo de almidón), suministran casi todo el etanol que se produce en la actualidad [14].

El almidón ($(C_6H_{10}O_5)_n$) es una molécula de polímero muy grande compuesta por muchos cientos o miles de moléculas de glucosa (polisacáridos), que deben descomponerse en una o dos moléculas antes de ser fermentadas. Los cultivos de almidón más difundidos son el trigo y el maíz. Una vez que los azúcares han sido despolimerizados (para cultivos de almidón) o extraídos (para cultivos de azúcar), pueden fermentarse fácilmente a etanol o usarse como sustrato para reacciones químicas que conducen a una amplia gama de productos químicos.

La biomasa lignocelulósica tiene tres componentes principales: celulosa, hemicelulosa y lignina. La celulosa ($(C_6H_{10}O_5)_n$) tiene una estructura molecular fuerte formada por largas cadenas de moléculas de glucosa (azúcar C_6). La distinción con el almidón viene dada por la configuración de los enlaces formados a través de la molécula de oxígeno que une dos unidades de hexosa. El almidón se puede hidrolizar fácilmente mediante enzimas o ataque ácido a los monómeros de azúcar individuales, mientras que la celulosa (30-50% de la materia seca lignocelulósica total) es mucho más difícil de hidrolizar y liberar monómeros de glucosa individuales. La hemicelulosa ($(C_5H_8O_5)_n$) es un componente relativamente amorfo que es más fácil de descomponer con productos químicos y/o calor que la celulosa; contiene una mezcla de azúcares C_6 y C_5 . Es el segundo componente principal de la biomasa lignocelulósica (20-40% de la materia seca total de la materia prima). La lignina ($(C_9H_{10}O_2(OCH_3))_n$), es esencialmente el pegamento que proporciona la rigidez general a la estructura de plantas y árboles y está hecha de polímeros fenólicos. Mientras que la celulosa y la hemicelulosa son polisacáridos que pueden hidrolizarse a azúcares y luego fermentarse a etanol, la lignina no puede usarse en procesos de fermentación, pero puede ser útil para otros fines (extracción química o generación de energía). La lignina (15-25 % de la materia seca total de la materia prima) es la fracción no carbohidratada más grande de la lignocelulosa.

La biomasa lignocelulósica se puede proporcionar como cultivo o como residuo. Se pueden producir

grandes cantidades de biomasa celulósica a través de cultivos dedicados como especies de plantas herbáceas perennes o cultivos leñosos de rotación corta. Otras fuentes de biomasa lignocelulósica son los desechos y residuos, como la paja de la agricultura, los desechos de madera de la industria de la celulosa y el papel y los residuos forestales. El uso de biomasa residual ofrece una forma de crear valor para la sociedad, desplazando los combustibles fósiles con material que normalmente se descompondría, sin uso adicional de suelo para su producción [15].

2) Triglicéridos

Los aceites y las grasas son triglicéridos que típicamente consisten en glicerina y ácidos grasos saturados e insaturados (la longitud de su cadena oscila entre C8 y C20, pero los 16, 18 y 20 carbonos son los más comunes). Las fuentes de aceites y grasas son una variedad de materias primas vegetales y animales. Los aceites de soja, palma, colza y girasol son los más importantes en términos de producción mundial [16]. Los aceites vegetales se utilizan hoy en día para la producción de biodiesel al reaccionar con un alcohol, generalmente metanol. Sin embargo, también pueden usarse como sustrato para reacciones químicas gracias a dos sitios químicamente reactivos: el doble enlace en la cadena de ácidos grasos insaturados y el grupo ácido de la cadena de ácidos grasos [11]. Al igual que los cultivos de azúcar y almidón, los cultivos de semillas oleaginosas se caracterizan por un bajo rendimiento y un alto uso de insumos. En el futuro, los cultivos no comestibles como *Jatropha curcas* y *Pongamia pinnata*, que requieren menores insumos y son adecuados para tierras marginales, pueden convertirse en los cultivos oleaginosos más extendidos para fines de biorrefinería, especialmente en regiones secas y semiáridas [17]. Otras fuentes de aceite vegetal para la conversión de biocombustibles se pueden encontrar en los flujos de desechos de la industria alimentaria, donde el aceite

comestible de desecho se genera principalmente a partir de servicios comerciales y plantas de procesamiento de alimentos, como restaurantes, cadenas de comida rápida y hogares [18].

3) Residuos orgánicos mixtos

Otros tipos de fuentes de biomasa que no entran dentro de las categorías anteriores son la fracción orgánica de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU), estiércol, frutos y cultivos silvestres, proteínas y residuos de industrias hortofrutícolas frescas. Las características físicas y químicas de este amplio espectro de recursos de biomasa varían en gran medida. Ciertos flujos, como los lodos de depuradora, el estiércol de las granjas lecheras y porcinas y los residuos del procesamiento de alimentos, son muy húmedos, con un contenido de humedad superior al 70 %. Por lo tanto, estas materias primas son más adecuadas para un proceso de digestión anaeróbica para generar biogás, en lugar de otros combustibles o productos químicos. Otros flujos, como los RSU orgánicos, pueden estar más o menos contaminados con metales pesados u otros elementos, pero representan un alto potencial para la recuperación de energía [19]. Claramente, las diferentes propiedades y características de los residuos de biomasa requieren la aplicación de diferentes tecnologías de conversión.

C. Procesos tecnológicos en biorrefinería

El objetivo del proceso tecnológico en biorrefinería es la despolimerización y desoxigenación de los componentes de la biomasa. Para convertir la materia prima de biomasa en productos valiosos dentro de un enfoque de biorrefinería, se deben aplicar varios procesos tecnológicos de manera conjunta. Se pueden dividir en cuatro grupos principales: procesos termoquímicos, bioquímicos, mecánicos/físicos y químicos, los cuales se analizan en la Tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de los procesos de conversión

Proceso	Técnica	Descripción	Referencia
Termo-químico	Combustión	Conversión térmica de biomasa en presencia de un oxidante (normalmente O ₂) para producir CO ₂ Y H ₂ O	[20]
	Gasificación	Descomposición térmica de biomasa a alta temperatura (>700°C) con niveles limitados de O ₂ para generar gas de síntesis (H ₂ , CO,CO ₂ ,CH ₄)	[21]
	Mejoramiento hidrotermal	Transformación hidrotermal de biomasa en crudo orgánico.	[22]
	Pirólisis	La biomasa se somete a temperaturas intermedias (300-600°C) en ausencia de oxígeno para obtener aceite pirolítico (bioaceite) carbón vegetal y gases ligeros.	[23]
Bioquímico	Fermentación	Utiliza microorganismos para transformar un sustrato en productos recuperables (alcoholes y ácidos orgánicos) a baja temperatura y velocidad de reacción.	[24]

ISSN 2590-5929		REVISTA PARA LA DIFUSIÓN Y PROMOCIÓN DE AVANCES DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN	
	Digestión anaeróbica	La biomasa se somete a descomposición bacteriana en ausencia de oxígeno a 30-65°C. El principal producto obtenido es el biogás (CH ₄ Y CO ₂).	[19]
	Digestión aeróbica	La biomasa se somete a descomposición bacteriana en presencia de oxígeno. Esta técnica se aplica en el tratamiento de aguas residuales	[2]
	Procesos enzimáticos	Utiliza enzimas para transformar un sustrato en productos recuperables (alcoholes y ácidos orgánicos) a baja temperatura y velocidad de reacción.	[25]
Químico	Procesos catalíticos	Reacción donde interviene uno o más reactivos, que tiene la presencia de un catalizador.	[16]
	Esterificación/ Transesterificación	Estas reacciones son las más comunes para la producción de biodiesel usando KOH o NaOH como catalizador. Los aceites vegetales se convierten es ésteres metílicos o etílicos de ácidos grasos.	[26]
	Hidrogenación	Reacción entre H ₂ y otro compuesto o elemento para producir biomoléculas, normalmente en presencia de un catalizador.	[27]
	Hidrólisis	Esta técnica puede utilizar ácidos, álcalis, vapor o enzimas para degradar la biomasa en sus azúcares simples.	[28]
	Oxidación	Combinación de oxígeno con otros elementos. Proceso donde hay aparentemente pérdida de electrones o iones.	[29]
Mecánico/Físico	Pretratamiento	Proceso donde se produce el acondicionamiento de la biomasa para su posterior transformación de productos de valor añadido.	[30]
	Separación	Método para lograr la separación de un producto químico de una mezcla, es decir, la purificación de un producto interesante.	[6]
	Destilación	Proceso de separación de un componente de una mezcla líquida por evaporación y condensación selectiva.	[31]
	Fluido supercrítico	Se utiliza un fluido supercrítico (condiciones supercríticas, temperatura y presión) para separar un componente (extracto) de otro (matriz). Además, se puede utilizar para extracciones de líquidos.	[32]

IV. DE REFINERÍA DE PETRÓLEO A BIORREFINERÍA

A. Biomasa vs. fósiles como materia prima

La estructura de las materias primas de la biorrefinería es totalmente diferente a aquella en la que se basa la actual refinería de petróleo. De hecho, el petróleo crudo es una mezcla de muchos compuestos de hidrocarburos orgánicos diferentes. El primer paso de la refinería de petróleo es eliminar el agua y las impurezas, luego destilar el petróleo crudo en sus diversas fracciones como gasolina, combustible diésel, queroseno, aceites lubricantes y asfaltos. Luego, estas fracciones pueden transformarse químicamente en varios productos químicos industriales y productos finales.

A diferencia del petróleo, la composición de la biomasa no es homogénea, porque la materia prima de la biomasa puede estar hecha de granos, madera, pasto, desechos biológicos, etc., y la composición elemental es una mezcla de C, H y O (más otros componentes menores como N, S y otros compuestos minerales). Si se compara con el petróleo, la biomasa generalmente tiene muy poco hidrógeno, demasiado oxígeno y una fracción más baja de carbono. La variedad de composición en las materias primas de biomasa es tanto una ventaja como una desventaja. Una ventaja es que las biorrefinerías pueden fabricar más clases de productos que las refinerías de petróleo y pueden depender de una gama más amplia de materias primas. Una desventaja es que se

necesita una gama relativamente mayor de tecnologías de procesamiento, y la mayoría de estas tecnologías aún se encuentran en una etapa precomercial [6].

Para ser utilizada para la producción de biocombustibles y productos químicos, la biomasa debe despolimerizarse y desoxigenarse. La desoxigenación es necesaria porque la presencia de O en los biocombustibles reduce el contenido de calor de las moléculas y, por lo general, les da una alta polaridad, lo que dificulta la mezcla con los combustibles fósiles existentes [33]. Las aplicaciones químicas pueden requerir mucha menos desoxigenación, ya que la presencia de oxígeno a menudo proporciona valiosas propiedades físicas y químicas al producto.

A diferencia del petróleo, la biomasa experimenta cambios estacionales, ya que no se puede recolectar durante todo el año. Un cambio de petróleo crudo a biomasa puede requerir un cambio en la capacidad de las industrias químicas, con el requisito de generar los materiales y productos químicos en un marco de tiempo estacional. Alternativamente, es posible que la biomasa deba estabilizarse antes del almacenamiento a largo plazo para garantizar el funcionamiento continuo de la biorrefinería durante todo el año [31].

La biorrefinería representa un cambio de la refinería de petróleo tradicional basada en una gran explotación de recursos naturales y una gran producción de residuos hacia sistemas integrados en los que se aprovechan todos los recursos. Un ejemplo de cómo evolucionará la biorrefinería del futuro se puede encontrar en la historia

de la industria de molienda húmeda de maíz existente [11]. Inicialmente, la industria de molienda húmeda de maíz producía almidón como producto principal. A medida que se desarrolló la tecnología y la necesidad de productos de mayor valor impulsó el crecimiento de la industria, la cartera de productos se expandió desde varios derivados del almidón, como los jarabes de glucosa y maltosa, hasta el jarabe de maíz con alto contenido de fructosa. Posteriormente se añadieron productos de fermentación derivados del almidón y la glucosa como ácido cítrico, ácido glucónico, ácido láctico, lisina, treonina y etanol. Ahora se están produciendo muchos otros subproductos, como gluten de maíz, aceite de maíz, fibra de maíz y alimentos para animales. El cuadro final es que el desarrollo de la infraestructura técnica, comercial y política de una refinera de biomasa (biorrefinería) la hace similar al concepto actual de refinera de petróleo.

B. Plataformas químicas actuales en refinera de petróleo

La industria química actual procesa el petróleo crudo en un número limitado de fracciones básicas [5]. Usando numerosos catalizadores de craqueo y refinación y usando la destilación como el proceso de separación dominante, el petróleo crudo se refina en fracciones como nafta, gasolina, queroseno, gasóleo y residuos. Los volúmenes relativos de las fracciones formadas dependen de las condiciones de procesamiento y de la composición del crudo. La fracción de nafta se utiliza posteriormente como materia prima para la producción de unos pocos productos químicos de plataforma de los que se derivan posteriormente todos los principales productos químicos a granel. Una característica importante de la materia prima de nafta es que, a diferencia de la biomasa, tiene un contenido de oxígeno muy bajo. La mayoría de los productos químicos a granel se pueden producir a partir de estos pocos productos químicos de plataforma:

- etileno,
- propileno,
- C4-olefinas,
- los aromáticos benceno, tolueno y xileno (a menudo denominados BTX).

Estos productos químicos de plataforma que contienen hidrógeno y carbono se utilizan posteriormente, por ejemplo, como disolventes (benceno, tolueno), material de partida para polímeros (etileno, propileno, butadieno) o se funcionalizan aún más mediante la introducción de elementos como oxígeno, nitrógeno o cloro [5], [6].

V. PRODUCTOS DE BIORREFINERÍA

Los productos de los sistemas de biorrefinería se pueden agrupar en dos grandes categorías: productos materiales y productos energéticos. Los productos energéticos son aquellos productos que se utilizan por su contenido energético, proporcionando electricidad, calor o servicio de transporte. Por otro lado, los productos materiales no se utilizan para generar energía sino por sus propiedades químicas o físicas. En algunos casos, se necesita una distinción adicional para la caracterización de los productos porque algunos productos como el biohidrógeno o el bioetanol pueden usarse como combustibles o como compuestos químicos en la síntesis química. En estos casos, es necesario identificar los mercados abordados, por ejemplo, el sector del transporte de H₂ y bioetanol [34].

Los productos de una biorrefinería deben ser capaces de reemplazar los productos basados en combustibles fósiles provenientes de la refinera de petróleo, tanto químicos como energéticos. En cuanto a los productos químicos, este objetivo puede cumplirse produciendo la misma especie química a partir de biomasa en lugar de fósiles (por ejemplo, fenoles), o produciendo una molécula que tenga una estructura diferente pero una función equivalente. En cuanto a los combustibles, una biorrefinería debe reemplazar los combustibles fósiles convencionales (principalmente gasolina, diésel, petróleo pesado, carbón y gas natural) por biocombustibles provenientes del mejoramiento de biomasa [14], [35].

Los productos energéticos más importantes que se pueden producir en las biorrefinerías son [2]:

- biocombustibles gaseosos (biogás, gas de síntesis, hidrógeno, biometano),
- biocombustibles sólidos (pellets, lignina, carbón),
- biocombustibles líquidos para el transporte (bioetanol, biodiésel, combustibles FT, bioaceite).

Los productos químicos y materiales más importantes son los siguientes [13]:

- productos químicos (químicos finos, bloques de construcción, productos químicos a granel),
- ácidos orgánicos (succínico, láctico, itacónico y otros derivados del azúcar),
- polímeros y resinas (plásticos a base de almidón, resinas fenólicas, resinas de furano),
- biomateriales (paneles de madera, pulpa, papel, celulosa),
- alimentos y piensos,
- fertilizantes.

VI. CONCLUSIONES

La reducción de las emisiones de CO₂ fósil, la necesidad de un suministro de energía seguro y la revitalización de las zonas rurales fomentan el uso de la biomasa como materia prima para la producción bioenergética y bioquímica. La energía de biomasa y la recuperación de materiales se maximizan si se considera un enfoque de biorrefinería, donde muchos procesos tecnológicos se aplican conjuntamente a diferentes tipos de materia prima de biomasa para producir una amplia gama de bioproductos. Luego se pueden establecer muchas rutas de biorrefinería, desde la materia prima hasta los productos, de acuerdo con los diferentes tipos de materia prima, tecnologías de conversión y productos. El concepto de biorrefinería es análogo a la refinería de petróleo actual, que produce múltiples combustibles y productos a partir del petróleo.

Un impulsor clave para el desarrollo y la implementación de biorrefinerías es el crecimiento de la demanda de energía, combustibles y productos químicos. En consecuencia, el objetivo de la investigación es desarrollar nuevas tecnologías y crear nuevos procesos, productos y capacidades para garantizar que el crecimiento sea sostenible desde las perspectivas económica, ambiental y social. La investigación adicional y la adopción de tecnología indicarán qué nuevos productos y procesos contribuyen a un rendimiento más sostenible en comparación con los sistemas convencionales basados en combustibles fósiles. El término mismo de sostenibilidad necesita un acuerdo sobre una definición y criterios comunes para su evaluación. Esto será necesario para la comunicación con las organizaciones no gubernamentales (ONG), el público en general, los reguladores y los encargados de formular políticas sobre, por ejemplo, las reducciones de CO₂.

Al desarrollar la química para futuras biorrefinerías, es importante que los métodos y técnicas utilizados minimicen el impacto en el medio ambiente y que los productos finales sean verdaderamente ecológicos y sostenibles. El uso de materias primas sostenibles no es suficiente para garantizar un futuro próspero para la generación posterior; También se requiere la protección del medio ambiente utilizando metodologías más ecológicas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Escuela de Ingeniería de Producción del Instituto Universitario de la Paz-UNIPAZ, por el tiempo concedido para la realización de este trabajo.

REFERENCIAS

- [1] P. I. Capellán, M. Mediavilla, and L. J. De Castro, Carlos. Carpintero, Óscar. Miguel, "Agotamiento de los combustibles fósiles y escenarios socioeconómicos : un enfoque integrado," *Energy*, pp. 1–62, 2014.
- [2] V. R. Moreira *et al.*, "Circular economy in biorefineries: Scale-up of anaerobic/aerobic membrane bioreactors for vinasse recycling," *J. Clean. Prod.*, vol. 377, no. September, 2022.
- [3] C. A. Cardona Alzate, Ó. J. Sánchez Toro, M. I. Montoya Rodríguez, and J. A. Quintero Suárez, "Producción de etanol carburante: material lignocelulósico una nueva alternativa," *Ing. Recur. Nat. y del Ambient.*, no. 3, pp. 47–55, 2005.
- [4] A. Gupta and J. P. Verma, "Sustainable bio-ethanol production from agro-residues: A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 41, pp. 550–567, 2015.
- [5] A. R. C. Morais, A. M. Da Costa Lopes, and R. Bogel-Łukasik, "Carbon dioxide in biomass processing: Contributions to the green biorefinery concept," *Chem. Rev.*, vol. 115, no. 1, pp. 3–27, 2015.
- [6] A. A. Kiss, J. P. Lange, B. Schuur, D. W. F. Brilman, A. G. J. van der Ham, and S. R. A. Kersten, "Separation technology—Making a difference in biorefineries," *Biomass and Bioenergy*, vol. 95, pp. 296–309, 2016.
- [7] S. W. Fitzpatrick, "The biofine technology: A 'bio-refinery' concept based on thermochemical conversion of cellulosic biomass," *ACS Symp. Ser.*, vol. 921, pp. 271–287, 2006.
- [8] G. Taylor, "Biofuels and the biorefinery concept," *Energy Policy*, vol. 36, no. 12, pp. 4406–4409, 2008.
- [9] C. C. Geddes, I. U. Nieves, and L. O. Ingram, "Advances in ethanol production," *Curr. Opin. Biotechnol.*, vol. 22, no. 3, pp. 312–319, 2011.
- [10] T. Romero Cortes, J. A. Cuervo-Parra, V. José Robles-Olvera, E. Rangel Cortes, and P. A. López Pérez, "Experimental and Kinetic Production of Ethanol Using Mucilage Juice Residues from Cocoa Processing," *Int. J. Chem. React. Eng.*, vol. 16, no. 11, 2018.
- [11] L. E. Rincón, J. Moncada, and C. A. Cardona, "Analysis of potential technological schemes for the development of oil palm industry in Colombia: A biorefinery point of view," *Ind. Crops Prod.*, vol. 52, pp. 457–465, 2014.
- [12] E. Caballero and C. Soto, "Valorization of Agro-Industrial Waste into Bioactive Compounds: Techno-Economic Considerations," *Biorefinery*, pp. 235–252, 2019.
- [13] J. Clark and F. Deswarte, "The Biorefinery Concept: An Integrated Approach," *Introd. to Chem. from Biomass Second Ed.*, vol. 9781118714485, pp. 1–29, 2015.
- [14] S. I. Mussatto *et al.*, "Technological trends, global market, and challenges of bio-ethanol production,"

- Biotechnol. Adv.*, vol. 28, no. 6, pp. 817–830, 2010.
- [15] E. Castillo, “Production of Cellulosic Ethanol from Palm Empty Fruit Bunches: the Perspective of Ecopetrol,” *Palmas*, vol. 2, no. 37, pp. 115–118, 2016.
- [16] T. L. Chew and S. Bhatia, “Catalytic processes towards the production of biofuels in a palm oil and oil palm biomass-based biorefinery,” *Bioresour. Technol.*, vol. 99, no. 17, pp. 7911–7922, 2008.
- [17] S. Et.al, “Propiedades fisicoquímicas del aceite y biodiesel producidos de la *Jatropha curcas* L. en la provincia de Manabí, Ecuador,” *Rev. Cuba. Química*, vol. 30, no. 1, pp. 143–159, 2017.
- [18] S. Samanta and R. R. Sahoo, “Waste Cooking (Palm) Oil as an Economical Source of Biodiesel Production for Alternative Green Fuel and Efficient Lubricant,” *Bioenergy Res.*, vol. 14, no. 1, pp. 163–174, 2021.
- [19] L. Zhang *et al.*, “Biorefinery-oriented full utilization of food waste and sewage sludge by integrating anaerobic digestion and combustion: Synergistic enhancement and energy evaluation,” *J. Clean. Prod.*, vol. 380, no. P1, p. 134925, 2022.
- [20] H. B. Carminati, R. de F. D. Milão, J. L. de Medeiros, and O. de Q. F. Araújo, “Bioenergy and full carbon dioxide sinking in sugarcane-biorefinery with post-combustion capture and storage: Techno-economic feasibility,” *Appl. Energy*, vol. 254, no. January, p. 113633, 2019.
- [21] S. Consonni, R. E. Katofsky, and E. D. Larson, “A gasification-based biorefinery for the pulp and paper industry,” *Chem. Eng. Res. Des.*, vol. 87, no. 9, pp. 1293–1317, 2009.
- [22] H. A. Ruiz, R. M. Rodríguez-Jasso, B. D. Fernandes, A. A. Vicente, and J. A. Teixeira, “Hydrothermal processing, as an alternative for upgrading agriculture residues and marine biomass according to the biorefinery concept: A review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 21, pp. 35–51, 2013.
- [23] M. Mora, E. Fàbregas, F. Céspedes, J. Bartrolí, and N. Puy, “Production and separation of value-added compounds from pine wood using pyrolysis and biorefinery techniques,” *Fuel Process. Technol.*, vol. 238, no. September, 2022.
- [24] S. Rehman, M. Khairul Islam, N. Khalid Khanzada, A. Kyoungjin An, S. Chairapat, and S. Y. Leu, “Whole sugar 2,3-butanediol fermentation for oil palm empty fruit bunches biorefinery by a newly isolated *Klebsiella pneumoniae* PM2,” *Bioresour. Technol.*, vol. 333, no. April, p. 125206, 2021.
- [25] A. Bouaid, N. Tardon, O. Hurtado, and J. M. Marchetti, “Enzymatic production of sustainable jojoba fatty alcohols. Biorefinery approach,” *Food Bioprod. Process.*, vol. 139, pp. 89–97, 2023.
- [26] D. D. Nguyen *et al.*, “Transesterification and fuel characterization of rice bran oil: A biorefinery path,” *Fuel*, vol. 253, no. January, pp. 975–987, 2019.
- [27] C. Moustani *et al.*, “Novel aqueous-phase hydrogenation reaction of the key biorefinery platform chemical levulinic acid into γ -valerolactone employing highly active, selective and stable water-soluble ruthenium catalysts modified with nitrogen-containing ligands,” *Appl. Catal. B Environ.*, vol. 238, no. June, pp. 82–92, 2018.
- [28] J. K. Saini, Himanshu, Hemansi, A. Kaur, and A. Mathur, “Strategies to enhance enzymatic hydrolysis of lignocellulosic biomass for biorefinery applications: A review,” *Bioresour. Technol.*, vol. 360, no. April, p. 127517, 2022.
- [29] C. Liu *et al.*, “Lignin-first biorefinery of corn stalk via zirconium(IV) chloride/sodium hydroxide-catalyzed aerobic oxidation to produce phenolic carbonyls,” *Bioresour. Technol.*, vol. 354, no. February, p. 127183, 2022.
- [30] S. C. Rabelo, P. Y. S. Nakasu, E. Scopel, M. F. Araújo, L. H. Cardoso, and A. C. da Costa, “Organosolv pretreatment for biorefineries: Current status, perspectives, and challenges,” *Bioresour. Technol.*, vol. 369, no. September 2022, 2023.
- [31] N. Van Duc Long, J. Hong, L. C. Nhien, and M. Lee, “Novel hybrid-blower-and-evaporator-assisted distillation for separation and purification in biorefineries,” *Chem. Eng. Process. Process Intensif.*, vol. 123, no. August 2017, pp. 195–203, 2018.
- [32] F. Temelli and O. N. Ciftci, “Developing an integrated supercritical fluid biorefinery for the processing of grains,” *J. Supercrit. Fluids*, vol. 96, pp. 77–85, 2015.
- [33] B. Kumar, N. Bhardwaj, K. Agrawal, V. Chaturvedi, and P. Verma, “Current perspective on pretreatment technologies using lignocellulosic biomass: An emerging biorefinery concept,” *Fuel Process. Technol.*, vol. 199, no. July 2019, 2020.
- [34] J. M. Sigüencia Avila, J. W. Delgado Noboa, F. R. Posso Rivera, and J. P. Sánchez Quezada, “Estimación del potencial de producción de bioetanol para los residuos de la corteza del cacao en Ecuador,” *Cienc. Tecnol. Agropecu.*, vol. 21, no. 3, pp. 1–20, 2020.
- [35] E. A. Llanes Cedeño, “Producción e Impacto del Biodiesel: Una Revisión,” *INNOVA Res. J.*, vol. 2, no. 7, pp. 59–76, 2017.



Karen Vanessa Mateus Calderón 1. Ingeniera Química de la Universidad de Santander-UIS, y docente investigadora del Instituto Universitario de la Paz-UNIPAZ. Su Investigación más reciente, enfocada en el desarrollo de procesos sostenibles, se basa en el aprovechamiento y valorización de residuos electrónicos para la producción de materiales oxidantes funcionales en la descontaminación del agua.

Análisis de los procesos y la productividad: caso estudio en la producción de muffins

Analysis of the processes and productivity: case study in muffins production

Santamaría Hernández Lidia Lizbeth¹

lidia.santamaria.2018@upb.edu.co

Gómez Maldonado María Fernanda¹

mariaf.gomez.2018@upb.edu.co

Jairo Nuñez Rodríguez¹

jairo.nunez@upb.edu.co

Rivera Otero Camilo José¹

camilo.rivera.2018@upb.edu.co

Monsalve Jerez Tatiana Alejandra¹

tatiana.monsalve.2018@upb.edu.co

Universidad Pontificia Bolivariana. Ingeniería industrial(1)

Recibido: mayo 24 de 2023 – Aceptado: junio 14 de 2023

Resumen

Este trabajo se realizó con el objetivo de analizar los métodos implementados para la realización de muffins y así optimizar la utilización eficaz de los recursos y establecer estándares de rendimiento, tomando como base el estudio del trabajo. Otro objetivo es estudiar la producción del producto, en este caso de tres diferentes sabores como lo fueron chips de chocolate, banano canela y mora, tal como se muestra en la primera fase del artículo al analizar el comportamiento de la demanda junto con la estructura del producto, su ficha técnica y proceso productivo. En la segunda fase, se llevó a cabo un análisis de los tiempos que requiere cada proceso analizando la debida productividad de cada uno, para así identificar los problemas principales en la producción de muffins. Una vez analizados costos en relación con los procesos e insumos se plantean acciones de mejora para perfeccionar la productividad de la organización optimizando tiempos, evitando subproducto de materia prima para de esta manera reducir costos en cada proceso que conlleva a la producción de estos. Este estudio se llevó a cabo a partir de la recolección de datos basados en la experiencia y observación enfocándose en una metodología de estudio como lo son diagramas de Pareto los cuales analizan los diferentes productos para así mejorar su calidad; otra herramienta de referencia son los diagramas de proceso operativo y de flujo de proceso que representan secuencias cronológicas de cada una de las operaciones, inspecciones, tiempos permitidos y retrasos; todo lo anterior con el fin de plantear un mejoramiento continuo que aumente la demanda y optimice la productividad.

Palabras clave: análisis, diagrama de Pareto, estudio del trabajo, métodos, procesos, productividad, tiempos.

Abstract

This work was carried out with the objective of analyzing the methods used to make muffins and thus optimizing the efficient use of resources and establishing performance standards, based on the study of the work. Another objective is to study the production of the product, in this case three different flavors such as chocolate chips, cinnamon banana and blackberry, as shown in the first phase of the article when analyzing the behavior of demand along with the structure of the product, your technical data sheet and production process. In the second phase, he carried out an analysis of the time required by each process analyzing the proper productivity of each, to identify the main problems in the production of muffins. Once analyzed costs in relation to processes and inputs are proposed improvement actions to improve the productivity of the organization optimizing times, avoiding by-product of raw material to reduce costs in each process that leads to the production of these. This study was carried out based on the

collection of data based on experience and observation focusing on a study methodology such as Pareto diagrams which analyze the different products to improve their quality; another reference tool is operational process and process flow diagrams that represent chronological sequences of each of the operations, inspections, allowable times and delays; all of the above in order to propose a continuous improvement that increases demand and optimizes productivity.

Keywords: analysis, pareto diagram, work study, methods, processes, productivity, times.

I. INTRODUCCIÓN

La gastronomía es considerada un arte, pero también una ciencia que se ha venido perfeccionando desde tiempos pasados en donde esta misma establece una correlación con los cinco sentidos y una efectividad al momento de analizar el sistema hombre-operación [1]. Existe una tendencia gastronómica que se encuentra vigente en los mercados de las diferentes ciudades como lo son los muffins, estos últimos son un tipo de torta pequeña con presentación individual para diferentes eventos especiales. El origen de este alimento proviene de la cocina inglesa desde 1703, su nombre viene del francés *moufflet*, que traduce pan suave. Años más tarde se conocieron los muffins en América, específicamente en Estados Unidos, en donde la receta y la elaboración sufrieron algunos cambios, llegando hasta la gran variedad de sabores de muffins que se conocen en la actualidad[2] y se consumen en todo el mundo.

Esta investigación está direccionada hacia la creación de valor agregado en la fabricación de muffins o ponquecitos. Se buscará identificar los diferentes procesos que llevan a la transformación de la materia prima desde la preparación de la mezcla hasta el producto terminado. Por medio de la ejecución del proyecto se tendrá como objetivo enfrentar uno de los retos más importantes para la industria en la actualidad, conseguir una buena productividad. La productividad conlleva mejorar el proceso productivo, lo que significa una relación favorable entre la cantidad de recursos y la cantidad de bienes o servicios producidos. Por lo tanto, la productividad es un indicador que compara lo producido por un sistema (salidas o producto) con los recursos utilizados para generarlo (entradas o insumos)[3], siendo un indicador base que permite medir el rendimiento de una empresa, producto o servicio.

A pesar de que se han hecho diferentes estudios o investigaciones relacionadas a la medición de la productividad en la industria de alimentos, se evidencia una falta de información referente a la producción de muffins. De hecho, la mayoría de los estudios se enfocan en la industria manufacturera de manera genérica o en la producción de alimentos más comunes o comerciales como el pan tal como se evidencia en diferentes diseños de sistemas de gestión como el ejecutado por Huaman para una panadería en 2017[4]. Por ende, este artículo busca ampliar el estudio y proporcionar un enfoque más detallado en el cálculo de la productividad al estudiar la producción de muffins.

En el caso de los muffins es importante optimizar los

métodos y tiempos de trabajo para apuntar a una producción eficiente y rentable. Para ello se plantean objetivos como evaluar los métodos para calcular la productividad de los mismos. Identificar y analizar los factores que influyen en la producción de muffins y proponer estrategias y mejoras para aumentar los índices de productividad[5].

Teniendo como enfoque la elaboración de muffins y los procesos que esto conlleva se evidencia que el estudio del trabajo es el examen sistemático de todos los métodos que pueden llevar al cumplimiento de objetivos, realizando todas las actividades de la manera más eficaz posible en cuanto a recursos como tiempo, materia prima, mano de obra, y demás; estableciendo siempre normas de rendimiento con respecto a cada una de los movimientos o acciones que se realizan[6]. Es decir, en el estudio del trabajo se da a conocer de qué manera se está realizando una actividad con el fin de tomar acciones de mejora como la reducción del trabajo innecesario o excesivo, el uso de los recursos y fijar el tiempo estándar para la realización de determinada actividad. También va de la mano con los métodos para poder realizar actividades con el fin de mejorar la utilización de los recursos y poder establecer normas de rendimiento de la actividad que se está llevando[7].

Hoy en día la mayoría de las grandes y medianas empresas realizan estudios para poder aumentar la productividad[8]. El estudio del trabajo presenta diferentes técnicas tales como estudio de métodos y tiempos para lograr este objetivo. El estudio de métodos permite mejorar un proceso al analizarlo y determinar el método más adecuado de hacer el trabajo, en la actualidad las organizaciones se enfrentan a mercados altamente competitivos en los que se debe satisfacer a los clientes de una manera eficiente con respecto a los costos de las actividades. Mediante este trabajo, se podrá analizar los procesos involucrados en la transformación de la materia prima para incrementar la eficacia, mejorar la calidad, reducir los costos y los tiempos de producción y entrega del producto[9], para continuar con un análisis de esos resultados plasmados en planes de mejoramiento basados en datos.

Por otro lado, el estudio del trabajo también involucra el análisis de tiempos, usando técnicas de medición de trabajo para hacer el registro y determinar su proporción con respecto a los recursos o elementos de una tarea específica y las condiciones en las que es efectuada[8]. Se examinan los datos con el propósito de determinar el tiempo estándar necesario para efectuar la función según la norma de ejecución[9] analizando las capacidades productivas. La productividad de una organización se ve afectada si esta no tiene una estrategia clara, definida y compartida[10].

La investigación se llevará a cabo usando un enfoque mixto, se utilizarán métodos cualitativos y cuantitativos. Se realizará un análisis al hornear varias veces las tres referencias estudiadas con el fin de recopilar los datos necesarios referente a los métodos, los tiempos de producción y los diferentes factores que afectan la productividad. Por ende, la investigación también tendrá un índole exploratorio y experimental.[11]

Según Ferjani, los sistemas de fabricación se caracterizan por un comportamiento incierto en el que pueden ocurrir cambios frecuentes y eventos imprescindibles con el tiempo [12]. Así mismo, se refleja un entorno de producción dinámico que provoca tiempos de operación estocásticos en empresas que trabajan en función de la producción intensiva. Por esto, las empresas deben aplicar el estudio de tiempos y movimientos para asignar de forma adecuada las tareas a los operarios y eliminar o mejorar elementos que podrían afectar la productividad, seguridad, y calidad de la producción. De esta manera, contarán con un informe detallado de sus actividades, para analizarlas y mejorarlas[13].

Esta investigación tiene importantes aspectos que impactarían tanto a nivel científico como social. Por una parte, los resultados obtenidos brindarían una base sólida para futuras investigaciones en esta área y podrán ser aplicados en otros procesos productivos que se asemejen. Desde el punto de vista científico, la medición de la productividad en la industria alimentaria estaría siendo estudiada y complementada con datos específicamente en la repostería, como los muffins. Teniendo en cuenta el aspecto social, el estudio podría brindarle a emprendedores emergentes o pequeñas empresas dedicadas a la repostería estrategias y mejoras específicas relacionadas al aumento de la productividad. Como se ha mencionado, una producción eficiente y planeada se verá reflejada en la reducción de costos, incremento en la competitividad y en el crecimiento económico de una industria.

II. METODOLOGÍA

Mediante la investigación se puso en práctica las diferentes temáticas vistas en clase, desarrollando un estudio del trabajo en la producción de muffins de diferentes sabores, en este caso chips de chocolate, banano con canela y mora, basándose en una empresa simulada para la recopilación de datos bajo condiciones normales de producción. En la primera fase se identificaron las referencias que se producen y se toma como punto partida la demanda que a su vez los ingredientes y las cantidades necesarias para producir los muffins. A su vez, se analizaron los procesos involucrados en la transformación de materia prima hasta llegar al producto terminado, teniendo el tiempo requerido en cada uno de ellos para posteriormente estimar la mano de obra. Al mismo tiempo, se discriminaron los recursos necesarios en cada uno de los procesos con el fin de establecer una estructura de costos. Todo esto se hará de forma

experimental al hacer los muffins 10 veces. Es decir, se repetirá el proceso varias ocasiones para que la toma de datos sea más acertada, estos serán analizados estadísticamente mediante intervalos de confianza con el fin de que los resultados tengan un sustento sólido.

Las variables estudiadas para la investigación detalladas específicamente en la fase dos, serán el tiempo de preparación requerido para llegar al producto terminado, teniendo en cuenta el alistamiento de los ingredientes y la ejecución de tareas previas a la producción de muffins, factor que influye en la eficiencia del proceso. Asimismo, es indispensable tener en cuenta el tiempo de cocción, variable que a su vez determina la capacidad de producción. Finalmente, y también teniendo en cuenta el proceso de empaque se busca llegar a un tiempo de producción estándar con el fin de calcular la cantidad de muffins producidos por unidad de tiempo para así plantear una capacidad de producción, eficiencia de cumplimiento con relación a la demanda del producto y el número de operarios necesarios para cumplir una jornada laboral bajo las condiciones de ley. Este estudio permite evaluar y analizar los factores importantes en relación con la productividad en la elaboración de las tres referencias de muffins, brindando una visión holística de los aspectos que intervienen en el proceso.

A. Primera fase

1) Comportamiento de la demanda

Analizar, estimar y entender la demanda se ha ido convirtiendo en una de las prioridades de diferentes organizaciones[14]. El enfoque estratégico de las empresas recae sobre el estudio de la demanda, midiendo el mercado actual y el potencial de las ventas de los productos o servicios ofrecidos. Entonces, se podría definir la demanda por el volumen de lo que fue o será adquirido por cierto grupo de consumidores en determinado periodo de tiempo, según las condiciones del entorno y el mercado, con el fin de obtener una relación favorable entre los compradores y lo que se oferta [15].

Al no tener un conocimiento conciso de las unidades demandadas del producto, se hizo uso de un histórico de demanda como instrumento para conocer la demanda real de los tres sabores de muffins con el fin de obtener una estimación de la cual partir. A continuación, se presentará la demanda correspondiente de cada tipo de muffin en los tres últimos meses elaborada mediante el sistema de aleatoriedad de Excel con el fin de dar un punto de partida a la investigación.

Tabla 1. Demanda Histórica

	Cantidad vendida a 3M	Acumulado	%Def	%Def acum

Muffins Chips chocolate	324	324	34,7%	35%
Muffins BananoCanela	307	631	32,8%	67%
Muffins Mora	304	935	32,5%	100%

En la tabla 1. Se observa la demanda de un trimestre para cada una de las referencias estudiadas. Una vez identificada, se calcula el acumulado de ventas, en donde se suma un sabor de muffin con el siguiente y este nuevo resultado se le suma a referencia posterior. También, se procede a calcular el porcentaje de participación de cada uno de los sabores en las ventas. Por ejemplo, de los 935 muffins consumidos en el trimestre, que porcentaje corresponde a cada referencia. Finalmente, se hace el acumulado de los porcentajes, si en la última fila el resultado es 100%, significa que los cálculos se realizaron de manera correcta. A continuación, se hizo un diagrama de Pareto para analizar los datos y establecer acciones de mejora:

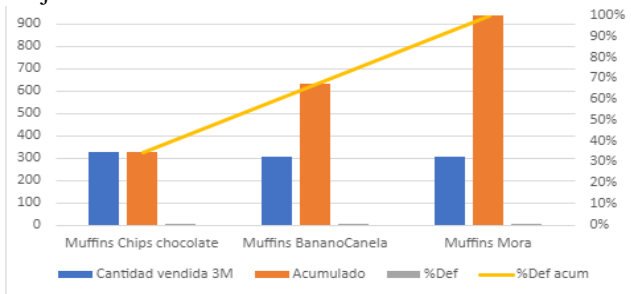


Fig 1. Diagrama de Pareto- Demanda histórica (3Meses)

Cómo se observa en el diagrama de Pareto los muffins de chips de chocolate y de banano canela representan en los tres meses un acumulado de 67% de las ventas totales. Con lo anterior se puede concluir que los muffins menos vendidos son los de mora con un acumulado del 33% representando cantidad en ventas de 304 unidades en el trimestre. Los planes de mejoramiento se deben centrar en los dos primeros productos, como aumentar la calidad del muffin con el fin de mejorar la productividad. Por otro lado, se podría ajustar el modelo de inventario para reabastecerse siempre y poder cumplir con la demanda de los productos más vendidos. Con respecto a los muffins de mora se puede incentivar su compra mediante estrategias de marketing y publicidad en las redes sociales.

A partir de la demanda se pudo tener una visión más clara del mercado y estimar una demanda base con respecto a los porcentajes de participación de cada muffin. Por lo tanto, se debe plantear los tiempos estimados para cada muffin y así no planear la producir para no entrar en pérdidas.

2) Análisis del producto

a) Estructura del producto

Tabla 2. Boom de materiales Muffins chocolate

Nivel 0.	Nivel 1.	Nivel 2.
Muffin	Masa	Harina
		Huevo
		Azucar
		Polvo para hornear
		Mantequilla
	Esencia de vainilla	
	Chocolate	

Tabla 3. Boom de materiales Muffins Banano-Canela

Nivel 0.	Nivel 1.	Nivel 2.
Muffin	Masa	Harina
		Huevo
		Azucar
		Polvo para hornear
		Mantequilla
	Esencia de vainilla	
	Banano y canela	

Tabla 4. Boom de materiales Muffins de mora

Nivel 0.	Nivel 1.	Nivel 2.
Muffin	Masa	Harina
		Huevo
		Azucar
		Polvo para hornear
		Mantequilla
	Esencia de vainilla	
	Mora	

Cada muffin tiene la misma masa base que consta de harina, huevo, azúcar, polvo para hornear, mantequilla y esencia de vainilla. Es en los toppings en donde se diferencia. Se tendrán tres variedades de producto: Chips de chocolate, banano y canela, y mora.

b) **Ficha técnica general**

Tabla 5. Ficha técnica del producto

Cantidad de compra			
Ingredientes	Cantidad	Unidades	Precio
Harina	1000	gr	\$6.600
Huevo	30	und	\$12.000
azúcar	1000	gr	\$2.900
Polvo para hornear	80	gr	\$6.390
Mantequilla	1000	gr	\$23.520
Esencia de vainilla	60	ml	\$3.190
Chips de chocolate	1000	gr	\$24.760
Banano	750	gr	\$2.250
Canela en polvo	112	gr	\$25.300
Mora	500	gr	\$1.500
FICHA TÉCNICA MUFFINS			
Nombre del producto		Muffin	
Descripción del producto			
Deliciosos muffins hechos de masa tradicional mezclada con diferentes toppings como chocolate, banano con canela y la mora, sabores muy atractivos para el paladar, proporcionando el sabor y la textura perfecta del muffin.			
ingredientes			
Descripción del producto	Cantidad	Unidades	
Harina	150	gr	
Huevo	2	und	
azúcar	150	gr	
Polvo para hornear	2	gr	
Mantequilla	160	gr	
Esencia de vainilla	2	gr	
Preparación del producto			
Una vez esté lista la mezcla se añade el determinado topping y se hornean a 180°C de 23 a 25 minutos			

Tabla 6. topping seleccionados para lote de 12 muffins

Topping	Cantidad	Unidades
Chips de chocolate	125	gr
Banano	130	gr
Canela	15	gr
Mora	50	gr

c) **Cantidad de compra**

Tabla 7. Cantidad de Compra de Materia Prima

d) **Fichas de costo de producto y proceso**

Una vez se identificó la materia prima, los procesos con sus respectivos tiempos, los servicios, los utensilios y demás recursos involucrados, se procedió a hacer un costeo por procesos en el que se estableció el costo de cada uno de ellos, el valor unitario y el precio de venta para la docena y la unidad de cada producto. Cabe resaltar que el proceso es el mismo para cada uno de ellos, lo único que varía es el topping que se añade. Es por esto, que prácticamente la única variación en los costos de un muffin con respecto al otro recae sobre la materia prima. En este orden de ideas, el muffin más caro sería el de banano, luego el de chocolate y por último el de mora.

Tabla 8. Costo Total Muffins de Chocolate.

Materia prima	\$9,349.28
Servicios	\$1,738.77
Mano de obra	\$2,437.54
Depreciación	\$10.7
Otros	\$4,000.00
Total Costo	\$17,536.25
Precio de venta docena (30%)	\$22,797
Precio de venta unitario (30%)	\$1,900

Tabla 9. Costo Total Muffins de Banano Canela

Materia prima	\$10,033
Servicios	\$1,741.52
Mano de obra	\$2,437.54
Depreciación	\$10.7
Otros	\$4,000.00
Total Costo	\$18,222
Precio de venta docena (30%)	\$23,689
Precio de venta unitario (30%)	\$1,974

Tabla 10. Costo Total Muffins de Mora.

Materia prima	\$6.40
Servicios	\$1,742
Mano de obra	\$2,438
Depreciación	\$11
Otros	\$4,000.00
Total, Costo	\$14.594.52
Precio de venta docena (30%)	\$18.973
Precio de venta unitario	\$1,581

(30%)

En cada uno de los casos se estableció un margen de utilidad del 30% el cual permite una buena participación en el mercado ya que el valor de venta tiende a ser estándar. Con este margen se permite brindarle al cliente el domicilio gratis a partir de 12 muffins, ya que sería pertinente incentivar la compra por docena y aumentar la demanda establecida. Se pueden usar diferentes estrategias de marketing y promociones en las redes sociales para lograr este objetivo.

e) Graficas de Pareto de insumos

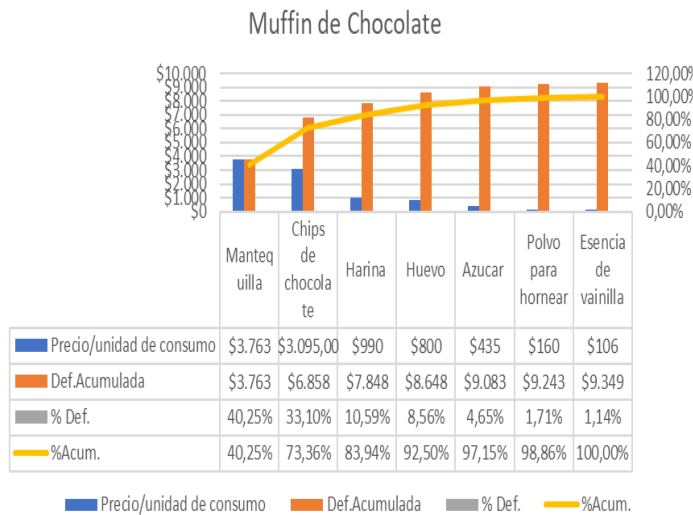


Fig 2. Diagrama de Pareto Muffin de Chocolate

Se observa que la mantequilla, los chips y la harina corresponden al 43% de los ingredientes requeridos y conforman el 84% de las compras de materia prima.

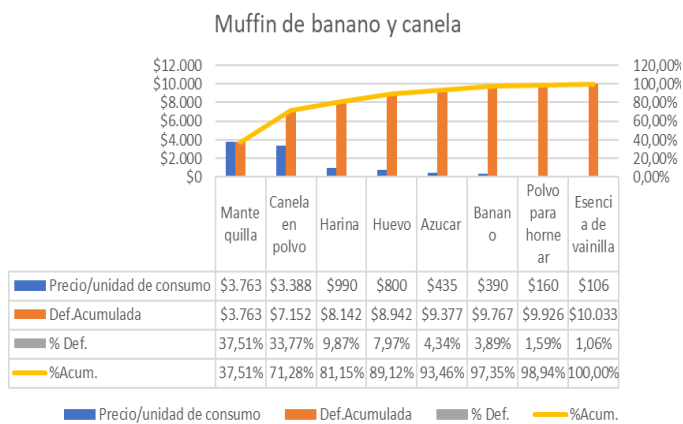


Fig 3. Diagrama de Pareto Muffin Banano Canela

Se observa que la mantequilla, la canela en polvo y la harina corresponden al 38% de los ingredientes requeridos y

conforman el 81,15% de las compras de materia prima.

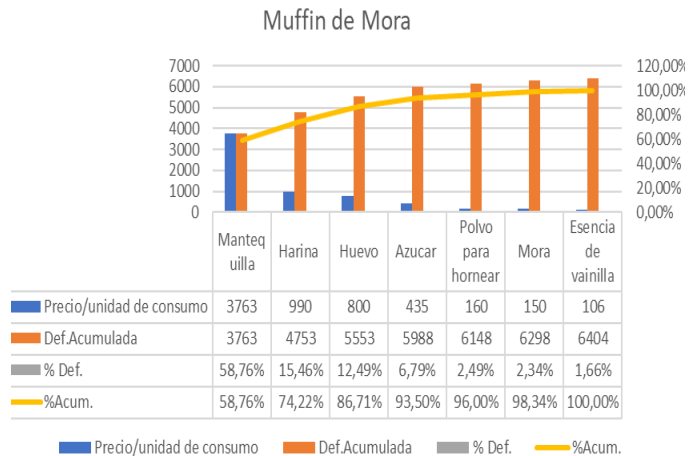


Fig 4. Diagrama de Pareto Muffin de Mora.

Se observa que la mantequilla y la harina corresponden al 29% de los ingredientes requeridos y conforman el 74% de las compras de materia prima.

Se concluye de las diferentes graficas que si se eliminan las causas que generan los altos valores se podría disminuir la estructura de los costos. Se deben tomar acciones de mejora, como seleccionar proveedores especialistas en materia prima para pastelería que vendan al por mayor y que tengan buenos precios. A su vez, sería pertinente centrarse en insumos como la mantequilla, los chips de chocolate y la canela para disminuir los costos y poder aumentar la productividad con respecto a las ventas.

3) Productividad

La productividad está relacionada con la cantidad de productos obtenidos mediante un sistema productivo y los recursos empleados. También se puede decir que es un indicador de la eficiencia, ya que puede medirse en función del tiempo, entre menos tiempo se emplee en obtener un producto determinado, se considera que el sistema es más productivo. Y entre mayor productividad con respecto a los recursos, resulta ser mayor la rentabilidad para la empresa. A continuación, se observa la productividad calculada en un ensamble en el que salen 12 muffins de cada sabor, involucrando los diferentes recursos e insumos.

Tabla 11. Productividad Muffin de Chocolate

(Producto/Materiales)	2.43838257
(Producto/Mano de obra)	9.35252130
(Producto/Servicios)	13.11106326
(Producto/Depreciación)	2138.30021776
(Producto/Otros recursos)	5.69928239
Productividad Total	1.30000000
Multifactorial	1.93412017

Tabla 12. Productividad Muffins de Banano Canela

(Producto/materiales)	2.36119568
-----------------------	------------

(Producto/ mano de obra)	9.71845693
(Producto/servicios)	13.60256712
(Producto/Depreciación)	2221.96538366
(Producto/ otros recursos)	5.92227793
Productividad Total	1.30000000
Multifactorial	1.89965550

Tabla 13. Productividad Muffin de Mora

(Producto/materiales)	2.96252863
(Producto/ mano de obra)	7.78362011
(Producto/servicios)	10.89121570
(Producto/Depreciación)	1779.59675781
(Producto/ otros recursos)	4.74321818
Productividad Total	1.30000000
Multifactorial	2,14581037

Dentro del factor mano de obra se identificó como componente crítico el proceso batir mantequilla, azúcar y vainilla, ya que se observa que se está consumiendo el tiempo a mayor razón, debido a que en comparación con la productividad de los otros procesos es el que menor resultado arroja. Esto quiere decir que en el proceso productivo es la actividad que más requiere tiempo, por lo que se puede analizar o sugerir estandarizar las tareas para eliminar tiempos ociosos. Por otro lado, en el proceso de alistar materia prima se puede observar que los tiempos están siendo eficientes ya que la productividad es la más alta de los componentes estudiados.

En la productividad de materia prima se identificó como insumo crítico la mantequilla en los tres productos ya que su relación entre las salidas y entradas es la más pequeña de los demás materiales empleados. Con respecto a los muffins de banano, la canela es uno de los ingredientes que genera mayores costos y que se utiliza en menor proporción. Por otro lado, en los muffins de chips este es otro insumo que debe entrar dentro de las acciones de mejora debido a su elevado precio. Por lo tanto, es necesario analizar el comportamiento del uso de estos productos y proponer estrategias de mejora para eliminar posibles desperdicios y mejorar la productividad.

En cuanto a la productividad de todos los recursos se vuelve a visualizar que el proceso batir mantequilla, azúcar y vainilla está siendo el costo más alto de la producción, pues al contemplar la suma de los costos indirectos de fabricación sigue disminuyendo la productividad en la misma proporción que lo hace cuando se analiza solo en el comportamiento del factor mano de obra.

Al analizar la productividad de los tres meses para cada producto se concluye que para todos los casos en el segundo mes la productividad se ve afectada ya que el numerador (salidas) disminuye a mayor razón que el denominador (entradas), por ende, la productividad no va a ser óptima. Con respecto al tercer mes la productividad es óptima porque el

numerador aumenta a mayor razón que el denominador, haciendo que la productividad mejore. Finalmente, la productividad para la demanda estimada es óptima ya que las salidas aumentan en mayor proporción que las entradas.

4) Estudio de métodos

El estudio de métodos consiste en el registro y examen crítico de la manera en cómo se realiza un trabajo o como es proyectada. De esta forma, se cataloga como un medio para idear métodos y técnicas más sencillas con el fin de reducir los costos. Se centra en reducir la cantidad de trabajo necesario para obtener cierta producción, eliminando completamente movimientos innecesarios de los materiales o del personal, sustituyendo así, los métodos de trabajo por unos más eficientes[16].

Con respecto al caso de estudio, el proceso para la elaboración de los muffins comienza alistando la materia prima, posteriormente se pesan los ingredientes que requieren medidas exactas previamente expuestas y se engrasa el molde para evitar que se peguen los muffins. Se bate la mantequilla, el azúcar y la esencia de vainilla por 778 segundos en promedio. Se añaden los huevos uno por uno y se bate la mezcla de nuevo por 108 segundos y se verifica que su textura sea homogénea, se incorpora la harina y el polvo para hornear y se bate por 58 segundo más. Una vez lista la mezcla se añaden los respectivos toppings y se verifica que todo haya quedado bien. Se vierte la mezcla al molde, se introduce al horno y se emplea un tiempo de cocción de 17 minutos, se inspecciona el estado de los muffins y por último se sacan del horno, se dejan enfriar y se desmoldan.

En el presente ítem se llevó a cabo el diseño del flujo de proceso para los Muffins, con el topping correspondiente de cada uno. En esta sección se define como se integran las partes, el orden de ensamble y el patrón global del flujo de materiales del proceso a llevar a cabo. Por consiguiente, se desean registrar los detalles y hechos del trabajo mediante el diagrama de proceso operativo debido a que es una herramienta utilizada para representar la secuencia cronológica, las inspecciones, los tiempos permitidos y los materiales usados en el proceso de manufactura (Muffins), mediante símbolos gráficos con el fin de hacer un análisis de la operación [17]. Por lo mismo, los diagramas expuestos para la elaboración de los tres tipos de muffins van enlazados con la toma de tiempos que se realizó en la segunda fase.

De igual manera, se realiza un diagrama de flujo de proceso que presenta mayor detalle ya que muestra todos los retrasos de movimiento y almacenamientos temporales a los que se ven expuestos los productos[18]. En forma general, debe representar a grandes rasgos la información sobre el recorrido de actividades principales de modo que se incluyan todas las operaciones y puntos de decisión [3]. De esta manera, se presentan los diagramas en el anexo de Excel.

B. Segunda fase

1) Análisis de tiempos

En esta fase del trabajo se hizo un estudio de tiempos a lo largo de todo el proceso de elaboración de cada sabor de muffins. Para esto, se hicieron 10 ciclos de fabricación de cada producto, se tomaron los tiempos de corrido mediante videos en donde se grababa al operario desde que comenzaba hasta que terminaba toda la operación. Posteriormente, en la hoja de tiempos anexa en el Excel se registraron los datos obtenidos que correspondían a cada proceso. De la misma forma, fue posible analizar y discriminar los tiempos regulares, irregulares y extraños que se evidenciaron en los 10 ciclos[8].

Una vez se contaba con el registro de los tiempos de cada proceso en 10 ciclos. Se procedió con la evaluación de los límites de control en cada operación, mediante esta se definían los datos que eran aceptados con los cuales se hallaría el tiempo estándar. Para esto fue necesario analizar la frecuencia lógica, se obtuvo que en una observación salen 12 muffins; por ende, en 0,083 observaciones se tiene una unidad del producto. Posteriormente se calculó el tiempo base. De la misma forma se trabajó con un coeficiente de Westinghouse de 1,25 en los 3 casos y así poder obtener el tiempo normal. Con respecto a los suplementos, se calculó un valor del 15% en el caso de los muffins de chocolate ya que se contaba con un operario hombre. Por otro lado, en el caso de banano-canela y mora el suplemento obtenido fue del 20% ya que eran operarias mujeres. Finalmente se obtuvo el tiempo estándar.

Al tener definidos los tiempos estándar fue posible adecuarlos al diagrama de proceso operativo como se muestra a continuación.

- Diagrama planteado Muffins de Chips de Chocolate:

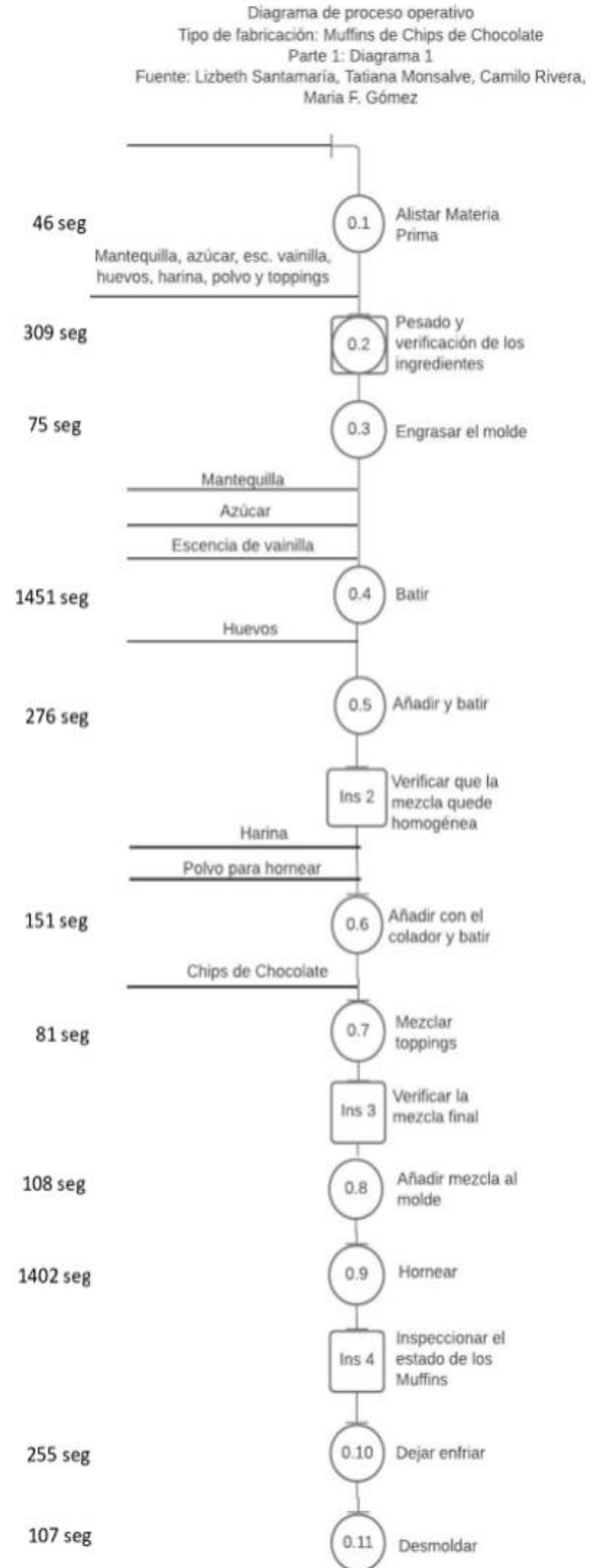


Fig 5. Diagrama de proceso operativo Muffin de Chocolate

- Diagrama planteado Muffins de Banano y Canela:

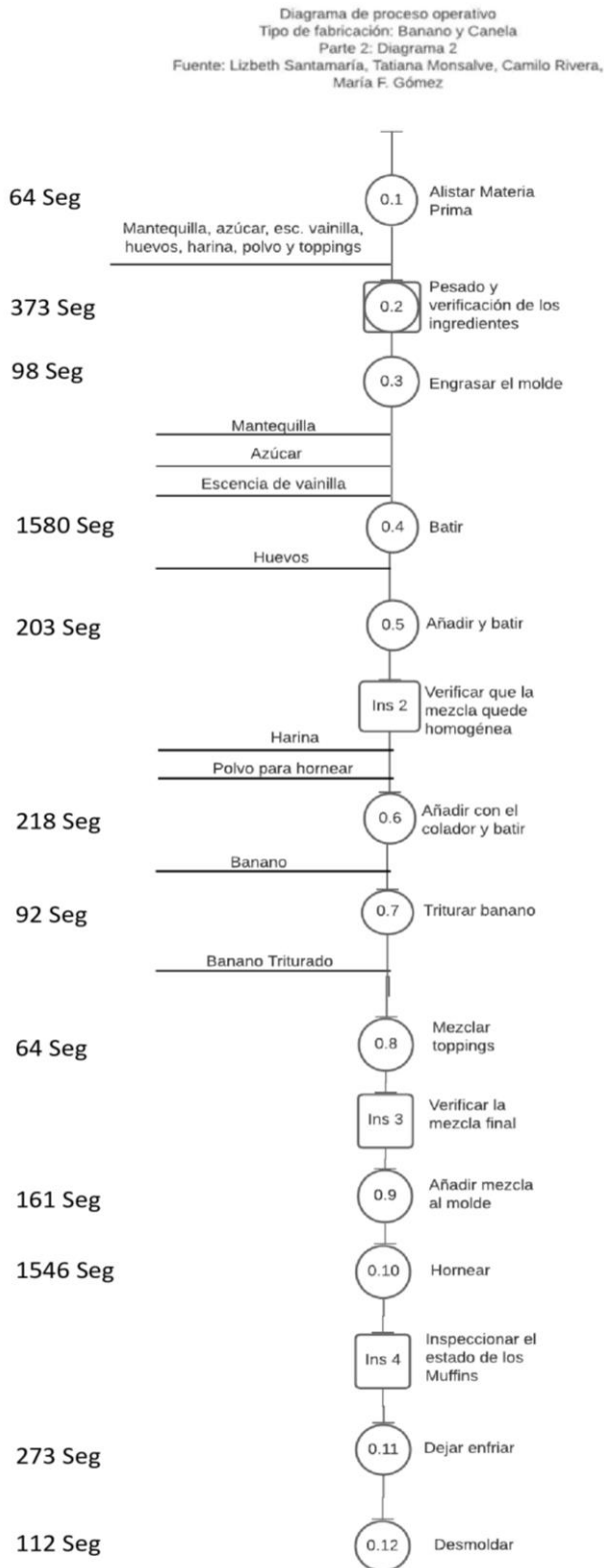


Fig 6. Diagrama de proceso operativo Muffin de Banano-Canela

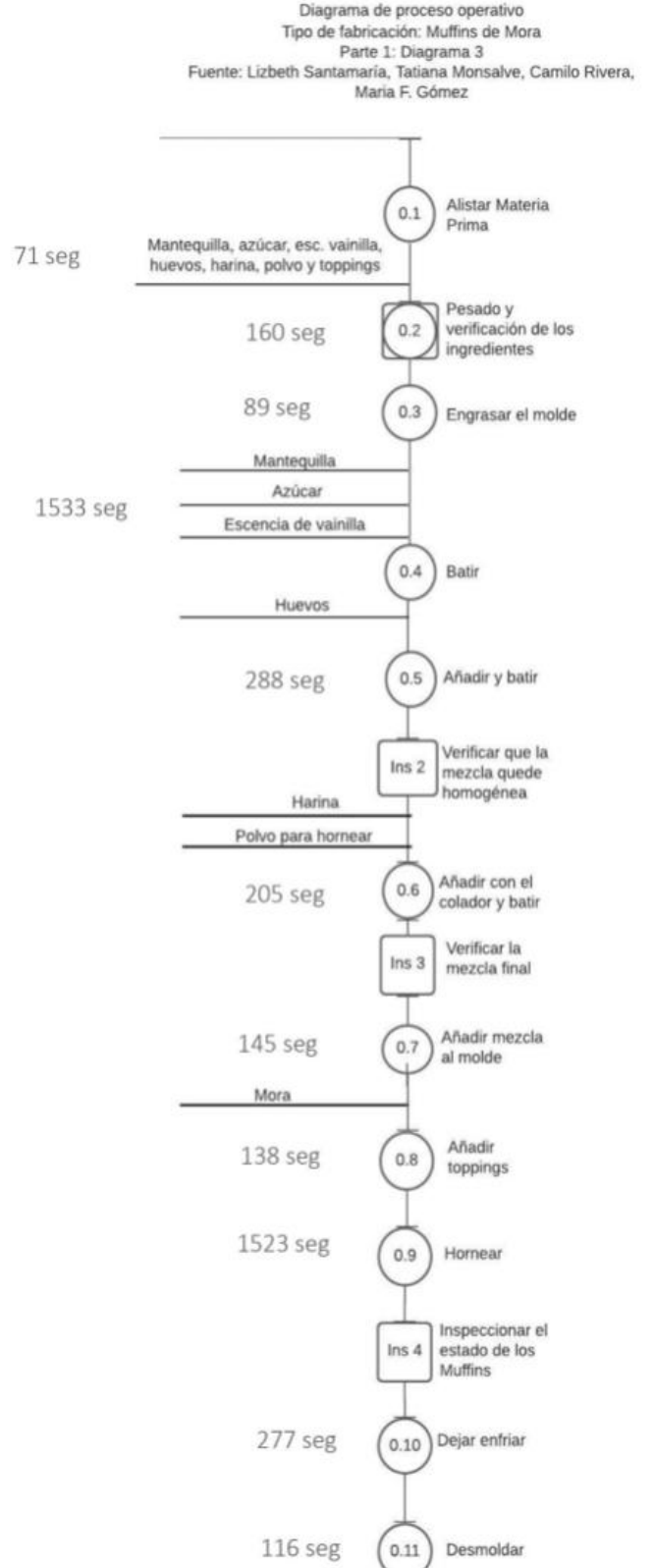


Fig 7. Diagrama de proceso operativo Muffin mora

- Diagrama planteado Muffin de Mora:

III. RESULTADOS

A. Análisis de tiempos

Como se dijo en la metodología, gracias al análisis de tiempos de cada uno de los procesos a lo largo de 10 ciclos, fue posible determinar el tiempo estándar tanto para la elaboración de una unidad como para la fabricación de un lote de 12 muffins de cada sabor.

Tabla 14. Tiempo Estándar

Sabor	Tiempo estándar para producir una unidad(seg)	Tiempo estándar para lote de 12 M.(seg)
Chocolate	355	4261
Banano-Canela	399	4783
Mora	379	4544

Al analizar los datos se observa que la fabricación de un lote de 12 unidades de chocolate requiere de 1:11:01. En el caso de banano-canela 1:19:43 y finalmente 1:15:44 para mora, cada tiempo en horas, minutos y segundos respectivamente.

De la misma forma, se identifican los tiempos irregulares en cada ciclo y/o operación. Se evidenciaron diferentes tipos de estos tales como el desplazamiento a la despensa por los ingredientes en el alistamiento, destapar cada ingrediente para poder pesarlo, tomar mantequilla cada que se requería en el engrasado, cambiar las velocidades o pausar la batidora en los procesos que la involucraban, ayudarse de cucharas o utensilios para manipular la mezcla con facilidad y finalmente el más importante el precalentado del horno.

Por otro lado, también se evidenciaron tiempos extraños como, devolver algún ingrediente al tarro cuando se pesaba mal, buscar recipientes o ingredientes que se olvidaban o se acababan. Además de demoras en el batido de mezcla debido a que el huevo o la harina no se incorporaban con facilidad, también inconvenientes presentados con el bolw en donde se mezclaba. Asimismo, acontecían cosas inesperadas como llamadas al celular del operario las cuales tenían que ser atendidas, o errores causados por el mismo como no leer las instrucciones. La incorrecta manipulación de implementos como el colador en la incorporación de la harina también retrasaban el proceso. En el caso del desmoldado se llegaron a quedar algunos muffins pegados haciendo el proceso más extenso.

Actividades como lavar la loza u organizar la cocina no interferían en el proceso de transformación del producto, pero aun así eran necesarios para que el operario trabajara en condiciones adecuadas. Es por esto, por lo que en los procesos

de horneado y enfriado se aprovechó el tiempo en el que el operario estaba libre, destinándose a limpieza.

B. Producción máxima y restricciones

1) Producción máxima por producto

Teniendo en cuenta una jornada laboral de 8 horas o 28800 segundos y el tiempo estándar en segundos para producir un lote de cada sabor (4261 para chocolate, 4783 para banano 4544 para mora), se analiza que si un día de trabajo se destinara únicamente a la preparación de un tipo específico de muffin se obtendrían 7 lotes o 84 unidades de chocolate, 6 lotes o 72 de banano-canela y por último 6 lotes o 72 muffins de mora. Este calculo se obtiene al dividir los segundos de la jornada laboral entre el tiempo estándar de producción de cada referencia.

Tabla 15. Producción máxima por muffin

Producto	Lotes máximos al día	Producción día (Und)
Chocolate	7	84
Banano Canela	6	72
Mora	6	72

De la misma manera se tomó el máximo de unidades que se pueden producir diariamente y se dividió entre las unidades demandas por día obtenido en el histórico de ventas. Se obtiene como resultado la necesidad de 0,055 operarios, razón por la cual se redondea a un solo operario y no se incurren en gastos de despido o contratación. La distribución de la jornada laboral por cada referencia de muffin será plasmada en siguientes apartados.

2) Restricción del tiempo de cocción

Al involucrar el proceso de horneado para la elaboración de cada producto se consideraría como un factor restrictivo. Se maneja un molde para 12 unidades, que al mismo tiempo ocupa la capacidad del horno y no deja espacio para algún molde extra.

En el caso de los muffins de chocolate, 34,08% de una jornada laboral de 8 horas sería destinada al horneado. Si solo se dedicara el día a hornear se produciría un total de 252 muffins (21 lotes). Por otro lado, el horneado de los muffins de banano-canela ocupa un 32,21% de la jornada laboral y siguiendo con la lógica anterior se producirían 228 muffins al día (19 lotes). Finalmente, para la producción de mora el horneado ocupa 31,73% del tiempo destinado y si solo se ejecutara el proceso de horneado se tendría una producción de 228 (19) muffins de mora por día.

C. Jornada laboral destinada a la elaboración de los tres muffins.

Al partir del porcentaje de participación obtenido gracias al histórico de demanda evidenciado en la Tabla 1 (34,7%

Chocolate, Banano-canela 32.8% y Mora 32,5%), se distribuyeron los 28.800 segundos de la jornada laboral propuesta para la elaboración de los tres productos dependiendo de su participación en el mercado. Teniendo como resultado 9980 seg para chocolate, 9456 seg para banano-canela y 9364 seg para mora. Al dividir el tiempo estándar para la producción de un lote de cada referencia de muffin entre el tiempo destinado para su preparación se obtuvo que se podría producir máximo 2 lotes de cada sabor, que, a su vez, serían 24 muffins de cada tipo. Teniendo en cuenta que al mismo tiempo sería la capacidad de producción de un operario y por ende su tiempo de trabajo que sería 7 horas, 32 minutos y 56 segundos.

Para producir los tres sabores de muffins en un día, se contaría con la siguiente jornada laboral. Comenzando a las 7:00AM y finalizando a las 4:00 PM. Para las 9:22 AM ya se contaría con los dos lotes de chips de chocolate terminados. Posteriormente el operario tomaría un descanso de 15 minutos lo que quiere decir que el trabajo sería retomado a las 9:37 AM. A las 12:17 PM se tendrían terminados dos lotes de banano-canela y se continuaría con una hora de almuerzo. Una vez el operario continuo con la producción, a las 3:17 se tendría un lote de mora terminado y quedaría pendiente la finalización de uno que se ejecutaría a las 3:28 una vez el trabajador vuelva de la pausa activa de 11 minutos. Finalmente, a las 4:00 PM se da por terminada la jornada.

Cabe recalcar que hay un espacio de tiempo de 1 minuto y 5 segundos en el cual no se produce, pero serviría para que el operario se desplazara de un proceso a otro.

1) Capacidad

Teniendo en cuenta que la capacidad diaria de un operario es 24 muffins de cada referencia en 8 horas por día, se obtiene que al trabajar 26 días al mes se tendría una producción de 624 muffins de su respectivo sabor. En total se elaborarían 1872 muffins por mes. Por esta razón, es necesario replantear la capacidad propuesta en el apartado del comportamiento de la demanda.

Tabla 16. Capacidad

Capacidad diaria de un operario (unds/día)	Producción al mes (unds/mes)	Tiempo para producir cada lote
24	624	1:11:01
24	624	1:19:43
24	624	1:15:44

D. Cumplimiento de la demanda establecida

Tomando como referencia el histórico de demanda al mes se venden en promedio 94 muffins de chocolate, 89 de banano-canela y 88 de mora dando un total de 270 unidades vendidas.

Lo que lleva a la conclusión de que es posible cumplir con la demanda establecida.

IV. IDENTIFICACIÓN DE PROBLEMAS

De acuerdo con los problemas vividos en la fabricación de los Muffins, en cuanto a la entrada de la materia prima, el proceso de transformación y finalmente el producto terminado, se reflejaron diversos inconvenientes en el mismo. De esta manera, se planteó un árbol de problemas como herramienta para presentar mejor la información, identificando las situaciones negativas en el desarrollo productivo, las cuales se intentan solucionar analizando la relación de causa-efecto.

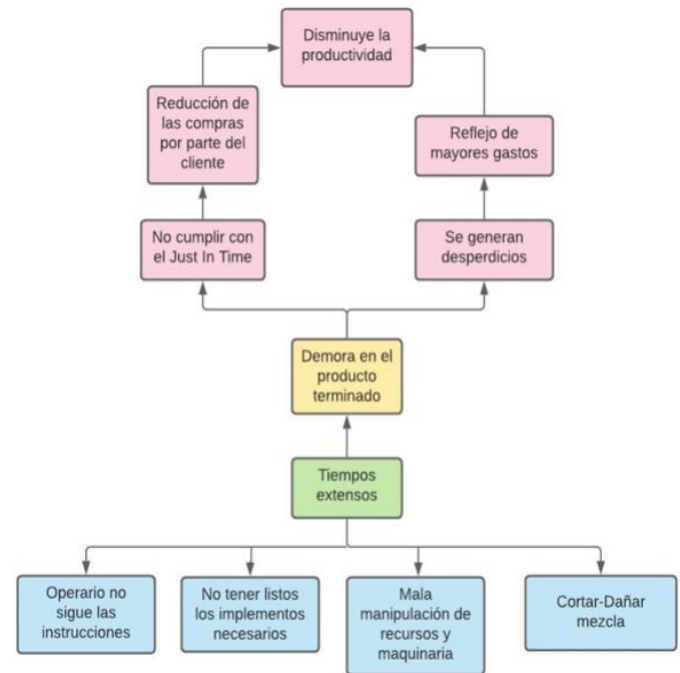


Fig 8. Árbol de problemas
Fuente: Autores

1) Acciones de mejora o planes de mejoramiento.

Teniendo como referencia todos los costos y empezando por un análisis histórico de los 3 meses, se ve reflejado que el muffin menos vendido fue el de mora. Debido a esto, la organización se ve en la obligación de crear nuevas estrategias que impulsen las ventas de este producto, manejando plataformas como redes sociales que incentiven a la audiencia a adquirirlo. De la misma manera, se pueden implementar diferentes métodos de compra. Otra estrategia que resultaría efectiva en cuanto a ventas es el marketing de recomendación basado en la prueba social que básicamente se logra con las referencias, opiniones y experiencias de los clientes satisfechos para difundirlas entre los clientes potenciales y así generar una mayor demanda.

Otro aspecto importante es la sobre producción mensual, para que esto no se vea reflejado como inconveniente en la productividad de la organización se hace necesario optimizar el tiempo de horneado; una alternativa de solución es implementar

un horno con mayor potencia y capacidad que brinde un mejor rendimiento al momento de poner en marcha la producción. Si se hace énfasis en la materia prima se observa que después de la mantequilla el insumo que menos productividad genera es la canela ya que su uso es mínimo y su costo es elevado; por lo anterior un plan de mejora para este aspecto es lograr alianzas con distribuidores netamente de insumos de pastelería que suministren grandes cantidades con excelente relación calidad-precio para así lograr disminuir costos. Por otro lado, si se habla de utensilios una estrategia de mejora para suplir la demanda sería implementar moldes que tengan más capacidad para así generar una productividad mucho más rentable en el proceso.

Un detalle para analizar es la óptima distribución de espacios y materiales que requiere el operario a la hora de ejecutar los diferentes procesos y así poder aprovechar adecuadamente las ocho horas laborales. Se hace necesario implementar un área de trabajo en donde todos los insumos y materia prima estén al alcance del trabajador, para así no generar inconvenientes o retrasos en la producción.

a) *Relación de la jornada laboral con la demanda*

Como se menciona en apartados anteriores del artículo si se trabaja una jornada de 8 horas diarias por 26 días al mes se obtendría una producción de 624 muffins de cada sabor. No obstante, al tener un histórico de demanda como estimador de ventas sería óptimo adecuarse al mismo para no sobre producir o tener productos estancados. Por esta razón, una acción de mejora podría ser adecuar la jornada laboral a los requerimientos del mercado.

Al tener el promedio de la demanda mensual por producto fue posible estimar las ventas por semana (24 unidades de chocolate, 22 de banano-canela y 22 de mora). De la misma forma, al contar con una capacidad diaria de 24 muffins de cada sabor fue posible proponer una jornada laboral más productiva y que se ajustaba a las ventas proyectadas.

Para cumplir con la demanda semanal y al mismo tiempo brindarles a los consumidores muffins frescos y de calidad, es necesario establecer una jornada laboral de 4 horas diarias en las cuales se produciría un lote de cada sabor, se trabajaría los lunes y jueves. Comenzando a las 7:00 AM, terminando a las 11:00 AM e incluyendo un descanso de 13 minutos que podría ser negociado con el operario.

V. CONCLUSIONES

Al observar la forma en la que varía la productividad mes a mes se puede observar que con respecto a la medida parcial la materia prima arroja el valor más bajo en cada uno de los productos. Detalle que afectaba la medida parcial total de la materia prima y por ende la productividad multifactorial y total. Se tomaron las acciones de mejora estipuladas anteriormente y se consiguieron nuevos proveedores que brindan productos de calidad a un mejor precio. En los tres muffins había ingredientes críticos como la mantequilla y la harina, afectando la estructura

de costos y por lo tanto la productividad. Razones que llevaron a la cotización con Coopasan, una empresa especializada en desarrollar y ofrecer productos, servicios y soluciones integrales al sector alimentario del país. Como conclusión el mejoramiento del insumo materia prima mejoró notablemente las diferentes medidas de la productividad y al mismo tiempo las ganancias de la empresa, como se muestra a continuación para cada sabor de muffin:

La productividad parcial de materia prima para los muffins de chocolate era 2,43. Factor que lleva a la revisión del diagrama de Pareto establecido anteriormente, en el que se concluyó que la harina, los chips de chocolate y la mantequilla correspondían al 43% del total de los ingredientes y que conformaban el 84% de las compras de materia prima. Gracias a Coopasan se obtuvieron precios mucho más bajos para la harina y la mantequilla, lastimosamente tras una ardua búsqueda de un mejor proveedor para los chips de chocolate se encontró que es muy difícil encontrarlos a un menor precio. Con los cambios establecidos en la materia prima de los muffins de chips de chocolate se encontró que la productividad parcial de la mantequilla aumentó de 6,05 a 10,25 y que la de la harina aumentó de 23,03 a 69,10. Factores que influyeron en que la productividad parcial de materia prima pasara de 2,43 a 3,18. Del mismo modo, estos cambios también se proyectaron en la medida multifactorial con un valor de 2,38. Finalmente, gracias a estos cambios la productividad total para una horneada de 12 muffins aumenta de 1,30 a 1,50.

Por otro lado, se analizaron las productividades de los muffins de banano y canela. Al tener como referencia el diagrama Pareto se llegó a la conclusión de que la mantequilla, la canela en polvo y la harina representan el 38% de la materia prima y que conforman el 81,15% de las compras totales para llevar a cabo la ejecución de los muffins. Una vez analizados los factores expuestos con anterioridad, se cotizó con la empresa de alimentos y bebidas McCormick, que ofrece precios mucho más asequibles en cuanto a la canela en polvo. Con los cambios de proveedores se observa que la productividad de la mantequilla aumentó de 6,29 a 10,66, la de la harina de 23,92 a 71,78 y la de la canela finalmente pasó de 6,99 a 32,31; arrojando como consecuencia un aumento en la productividad parcial total de la materia prima de 4,57. Finalmente se cuenta con una nueva y mejorada medida factorial de 3,11 y una productividad total para una horneada de 12 muffins que aumenta de 1,30 a 1,77.

El procedimiento realizado para los muffins de mora fue exactamente el mismo que se expuso anteriormente. La diferencia radica en que al analizar la materia prima de los muffins de mora se encontró que la harina y la mantequilla correspondían al 29% del total de ingredientes y que conforman el 74% de las compras de materia prima. Entonces, con las acciones de mejora previamente nombradas se concluyó lo siguiente. La productividad de la mantequilla aumentó de 5,04 a 8,53 y que la harina aumentó de 19,16 a 57,49. Factores que

hicieron que la productividad parcial de la materia prima pasara de 2,96 a 4,51. Con respecto a la multifactorial, se tiene un nuevo valor de 2,86. Finalmente, la productividad total para una horneada de 12 muffins aumenta de 1,30 a 1,53.

Por último, se concluye entonces que los nuevos proveedores mejoraron la relación entre salidas y entradas, disminuyendo la estructura de costos sin afectar la calidad del producto. Permitiendo entrar a la empresa al mercado con buenos precios y productos ricos en sabor, textura y calidad. Además, se recalca el plus del domicilio gratis tan atractivo para el consumidor.

Comparando las condiciones planteadas en el estudio de métodos, donde se partía de estimaciones de tiempos teniendo una receta como referencia. Se intuía que cada tipo de muffin al compartir una misma masa requeriría de la misma cantidad de tiempo. No obstante, se concluye que al diferir las condiciones en las que se encuentra el operario, además de ligeros cambios en la receta dependiendo del sabor, se llega a un tiempo estándar completamente diferente para cada uno de los productos.

De esta manera se concluye que el valor de 2808 segundos que se habían propuesto inicialmente para la elaboración de 12 muffins independientemente del sabor era un dato no muy exacto. No obstante, gracias al correcto análisis de tiempos expuesto con anterioridad se tiene que para elaborar 12 muffins de chocolate se debe disponer de un tiempo estándar de 4261 segundos, 4783 segundos para banano y canela y 4544 segundos para mora.

Ciñéndose a estos tiempos, se concluye que gracias al cálculo del tiempo estándar es posible llegar a una capacidad máxima mucho más exacta y veraz. Como se explicó con anterioridad se cuenta con una producción máxima de 624 muffins de cada sabor al mes, con un operario que labora 8 horas diarias y seis días a la semana. Lo que hace que se debe replantear la producción expuesta en las condiciones iniciales en las que se contaba con una capacidad máxima de 1028 muffins de chocolate, 974 de banano-canela y 965 de mora al mes.

De la misma forma es pertinente tomar como referencia la demanda establecida en meses anteriores con el fin de planificar cuidadosamente la producción requerida y no entrar en pérdidas. Se concluye que llegado el caso en que se implemente una jornada fiel a las proyecciones es oportuno establecer jornadas laborales más cortas y por menos días a la semana como se propone con anterioridad. Esto llevaría a la empresa a mantener su productividad y a entregarle a sus clientes productos frescos y de excelente calidad.

REFERENCIAS

[1] “Ergonomía en la cocina.”
 [2] “Chef Norberto Petryk, asesor en gastronomía: Muffins, un poco de historia y su receta.”
<http://petryknorberto.blogspot.com/2013/09/muffins->

un-poco-de-historia-y-su-receta.html (accessed Feb. 10, 2021).
 [3] “Administración Operaciones de las PRODUCTIVIDAD Y COMPETITIVIDAD.”
 [4] L. Del Pilar, H. Sandoval, and A. Vásquez Ruiz, “UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA,” 2017.
 [5] V. Borsellino, E. Schimmenti, and H. El Bilali, “Agri-Food Markets towards Sustainable Patterns,” *Sustainability* 2020, Vol. 12, Page 2193, vol. 12, no. 6, p. 2193, Mar. 2020, doi: 10.3390/SU12062193.
 [6] “Estudio del trabajo: ¿En qué consiste y cómo se hace?” <https://ingenioempresa.com/estudio-del-trabajo/> (accessed Feb. 26, 2021).
 [7] J. Antonio and T. García, “INTRODUCCION AL ESTUDIO DEL TRABAJO.”
 [8] B. W. Niebel and A. Freivalds, “Ingeniería industrial. Métodos, estándares y diseño del trabajo, 12va Edición.”
 [9] “Métodos y tiempos. El estudio del trabajo para la productividad • gestiopolis.” <https://www.gestiopolis.com/metodos-y-tiempos-el-estudio-del-trabajo-para-la-productividad/> (accessed Feb. 22, 2021).
 [10] “Conceptos de administración estratégica, 9na edición fred r david fl by JMMG - issuu.” https://issuu.com/jaimemeneses4/docs/conceptos_de_administracion_estrat (accessed Feb. 10, 2021).
 [11] M. C. en Roberto Hernández Sampieri, C. Fernández Collado, D. Pilar Baptista Lucio, and M. de la Luz Casas Pérez, “METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN,” 1991.
 [12] A. Ferjani, A. Ammar, H. Pierreval, and S. Elkosantini, “A simulation-optimization based heuristic for the online assignment of multi-skilled workers subjected to fatigue in manufacturing systems,” *Comput Ind Eng*, vol. 112, pp. 663–674, Oct. 2017, doi: 10.1016/j.cie.2017.02.008.
 [13] A. D. Karaoglan, M. A. B. Ocaktan, D. Gonen, A. Oral, and S. S. Kundakci, “Scheduling Customized Orders by Considering the Ergonomic Constraints: A Case Study at YEMTAR Company”, doi: 10.11159/icmie18.112.
 [14] “Organización Internacional del Trabajo.” <https://www.ilo.org/global/lang-es/index.htm> (accessed Apr. 16, 2023).
 [15] “La demanda. Una perspectiva de marketing: reflexiones conceptuales y aplicaciones.” http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S1994-37332011000200008&script=sci_arttext&tlng=en (accessed Feb. 25, 2021).
 [16] “(No Title).” https://guiasjuridicas.wolterskluwer.es/Content/Documento.aspx?params=H4sIAAAAAAAAAEAMtMSBf1jTAAASNjcwMTtbLUouLM_DxbIwMDS0NDA1OQQGZapUt-ckhlQaptWmJOcSoAh4vkGzUAAAA=WKE (accessed Feb. 26, 2021).

- [17] “Diagrama de Flujo (Flujograma) de Proceso - Blog de La Calidad.” <https://blogdelacalidad.com/diagrama-de-flujo-flujograma-de-proceso/> (accessed Feb. 26, 2021).
- [18] K. Balkey *et al.*, “Ejemplos de uso de códigos y normas para los estudiantes de ingeniería mecánica y otros campos.” [Online]. Available: <http://www.asme.org/about-asme>

Camilo José Rivera Otero. Estudiante de ingeniería industrial. Universidad Pontificia Bolivariana. camilo.rivera.2018@upb.edu.co

Tatiana Alejandra Monsalve Jerez. Estudiante de ingeniería industrial. Universidad Pontificia Bolivariana. tatiana.monsalve.2018@upb.edu.co

Lidia Lizbeth Santamaría Hernández. Estudiante de ingeniería industrial. Universidad Pontificia Bolivariana. lidia.santamaria.2018@upb.edu.co

María Fernanda Gómez Maldonado. Estudiante de ingeniería industrial. Universidad Pontificia Bolivariana. mariaf.gomez.2018@upb.edu.co

Jairo Núñez Rodríguez. Ingeniero Industrial. Universidad Pontificia Bolivariana. Máster en Ingeniería Avanzada de Producción, Logística y Cadena de Suministro. Universidad Politécnica de Valencia. jairo.nunez@upb.edu.co

Gestión de la demanda de energía eléctrica usando energías renovables: caso de estudio en una vivienda en Popayán, Cauca

Energy load management using renewable energy study case in a home at Popayan, Cauca

Sánchez Medina Olga Liliana ¹
osanchezm@sena.edu.co

Montaño Fuentes Rodrigo Alberto ¹
rmontano@sena.edu.co

Yimi Duván García ²
jd.055@live.com

Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería, Programa en Ingeniería Eléctrica, Maestría en Ingeniería; Grupo de investigación INNOVATEC, SENA Regional Cauca, Popayán, Colombia. (1)
Universidad del Cauca, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Física; Magíster en Física y Tecnología de los Láseres en Universidad de Salamanca, España. Grupo de investigación INNOVATEC, SENA Regional Cauca, Popayán, Colombia. (2)
SENA Popayán, Programa Tecnología en Electricidad Industrial; Grupo de investigación

Recibido: octubre 24 de 2022 – Aceptado: junio 14 de 2023

Resumen

Ante el incremento del consumo de energía eléctrica las empresas de energía debería construir nuevas centrales eléctricas para atender la demanda afectando el medio ambiente; para disminuir estos efectos a nivel mundial se ha fomentado y reglamentado el uso de fuentes alternativas; así se propone el desarrollo de este proyecto para abastecer de energía eléctrica a una vivienda en el Municipio de Popayán, Cauca; teniendo como fuente principal energía solar fotovoltaica, realizando gestión automática de carga entre esta y la red pública, fomentando el uso racional y eficiente de la energía, el cumplimiento de políticas nacionales e internacionales y la disminución de emisiones de CO₂. El abastecimiento desde la red fotovoltaica a las cargas depende del voltaje en el banco de acumulación y la irradiancia solar; así se implementa un sistema de gestión que realiza transferencia automática de los circuitos a la red pública de energía, o por el usuario de acuerdo con sus preferencias, pero sujeto a las restricciones técnicas impuestas en el banco de acumulación.

En este proyecto se caracterizó la potencia de los equipos instalados, se estableció la línea base para calcular los componentes del sistema fotovoltaico y su diseño eléctrico; se implementó un sistema de monitoreo, supervisión y control para efectuar transferencia de la carga entre el sistema fotovoltaico y la red pública; se ejecutaron pruebas para evaluar el funcionamiento de

los equipos y la programación realizada, se realizó análisis cualitativo y cuantitativo mediante técnicas estadísticas de los resultados obtenidos donde se evidencia la correcta operación del sistema.

Palabras Clave: gestión de carga, controlador lógico programable, sistema solar fotovoltaico, red pública, energías renovables.

Abstract

Given the increase in electricity consumption, energy companies should build new power plants to meet the demand affecting the environment; to reduce these effects worldwide has been encouraged and regulated the use of alternative sources, thus, this project is proposed to supply electricity to a house in the municipality of Popayán, Cauca; having as main source photovoltaic solar energy, performing automatic load management between this and the public network, promoting the rational and efficient use of energy, compliance with national and international policies and reducing CO2 emissions. The supply from the photovoltaic grid to the load depends on the voltage in the accumulation bank and the solar irradiance; a management system is implemented that performs automatic transfer of the circuits to the public power grid, or manual transfer by the user according to his preferences, but subject to the technical restrictions imposed on the accumulation bank.

In this project, the power of the installed equipment was characterized, the baseline was established to calculate the components of the photovoltaic system and its electrical design; a monitoring, supervision and control system was implemented to transfer the load between the photovoltaic system and the public grid; tests are carried out to evaluate the operation of the equipment and the programming performed, qualitative and quantitative analysis is made through statistical techniques of the results obtained where the correct operation of the system is evidenced

Keywords: load management, Programmable Logic Controller, Potovoltaic Solar System, Public Grid, Renewable Energy

1. INTRODUCCIÓN

El incremento de la demanda de energía eléctrica dada principalmente por desarrollos tecnológicos ofrecidos como una manera de mantener la comodidad de las personas y como elemento fundamental en la automatización en las empresas para aumentar la producción, disminuir costos y desperdicios en materia prima, hace que se requiera el incremento de la generación de energía eléctrica, ya sea mediante la construcción de nuevas centrales eléctricas o mediante el uso de energías alternas como la solar fotovoltaica. El mayor nivel de consumo de energía eléctrica se manifiesta especialmente en horas pico, lo que implica buscar soluciones adicionales para atender la demanda con los recursos existentes, una alternativa es la implementación de estrategias de gestión de carga que permitan modificar los patrones de consumo de energía y por ende la curva de demanda.

En Gestión de carga se presentan trabajos que están enfocados al diseño, automatización y optimización de la demanda mediante complejos algoritmos; entre estos estudios está el presentado por Galván, Taylor, Clarke y Vinny [1], proponen el uso de un algoritmo estocástico evolutivo que genera automáticamente soluciones óptimas o casi óptimas para establecer los horarios que cargar eléctricamente un número dado de vehículos eléctricos (VE) cumpliendo con dos objetivos: (a) que cada VEZ quedé con la mayor carga eléctrica posible al momento de salir del sitio donde está realizando la carga y (b) evitar que se supere la cargabilidad del transformador al conectar varios vehículos al mismo tiempo.

Fadiran, Yuill, Chowdhury y Chowdhury [2], desarrollaron un prototipo a bajo costo para implementar gestión de carga programable (Programmable Load Manager, PLM) y diseñar una estructura que le permita

al usuario del servicio de energía hacer control sobre la carga. En este trabajo se considera muy importante el hecho de que existe la posibilidad de tener dos programas de gestión de la demanda, uno fuera de línea en el cual el usuario puede establecer su propio horario de gestión de carga y otro programado por la compañía de electricidad, en el cual el usuario también puede intervenir si no encuentra satisfecho con la programación

El programa de gestión tiene 7 grados de libertad: así la gestión de carga fuera de línea tiene el grado 1.0, y la gestión de la demanda en línea tiene 6 grados así: el 1.0 en el cual el usuario está totalmente de acuerdo con la programación, si no está totalmente satisfecho pasa al siguiente grado que es 0,8, luego a 0,6 y así sucesivamente hasta llega el grado 0, donde el usuario establece el horario deseado.

Tsui y Chan [3] consideran la optimización en el uso de los electrodomésticos en una casa inteligente, donde la mayoría de los aparatos eléctricos están conectados en

Modo operación	Fuente eólica	Fuente solar	Banco baterías
1	encendido	apagado	en carga
2	encendido	encendido	en carga
3	encendido	encendido	abastece la demanda
4	apagado	apagado	abastece la demanda, las baterías están cargadas al 100%
5	encendido	encendido	En carga, el banco de baterías está descargadas

red entre sí y están controlados por Sistema de Gestión de Energía (Energy Management System, EMS) que minimiza una función objetivo que mide: 1) el costo total de poder disponer de energía eléctrica para usar los electrodomésticos y 2) la insatisfacción de los usuarios al no disponer de energía eléctrica para su uso.

Zheng, Jenkins, Kornbluth, Kendall y Chresten Træholt [4] desarrollaron un algoritmo basado en programación lineal económica con control predictivo para minimizar los costos de operación de una microrred de biomasa combinando calor y energía, para optimizar el desplazamiento de cargas en función de la generación de

energía renovable y tarifa de tiempo de uso (TOU). El modelo se aplicó a microrred conectada a la red de servicios públicos en Davis, California, reduciendo los costos de operación en un 6,06% y aumentando el uso de energía renovable en un 6,34% en comparación con microrredes que no aplican gestión del lado de la demanda.

En la India, Murugaperumal, Ajay y Raj [5] proponen un sistema de gestión de energía híbrida inteligente para la gestión de la carga en edificios residenciales, teniendo en cuenta tres tipos de carga: 1) no programables que no se puede interrumpir su funcionamiento y son encendidas por el usuario en cualquier momento, 2) interrumpibles como calefacción y aire acondicionado controladas por termostatos y 3) interrumpibles se funcionamiento se puede programar en cualquier hora del día. La programación de encendido de las cargas depende del precio de la energía por tiempo de uso (TOU) y de la optimización del empleo de fuentes de energía renovable, de las baterías y la red pública reduciendo los costos de facturación y la demanda máxima.

En Irán, Noghreian y Koofgar [6] presentan un sistema de energía compuesto por fuentes renovables de energía principales y un banco de baterías como respaldo, además proponen una estrategia de gestión energética basada en el concepto de sistemas conmutados no lineales inciertos, para el sistema de energía híbrido y una estrategia de control adaptativo para garantizar la robustez con respecto a las incertidumbres paramétricas.

La estrategia de gestión energética considera de cinco modos de operación:

Tabla I. Modos de operación.

Nota: creada a partir de la información del artículo [6]

Obtienen resultados satisfactorios medidos de forma analítica utilizando el teorema de estabilidad de Lyapunov

En Australia, Sarker, Seyedmahmoudian, Jamei, Horan y Stojcevski [7] desarrollaron un modelo de gestión de la energía para un caso de estudio de 4 viviendas en Australia para reducir la carga pico, reducir la factura de electricidad y maximizar el uso de energía renovable, el cual consta de una microrred, el uso de estrategias de gestión desde el lado de la demanda (DSM) y el

algoritmo BPSO MATLAB. La simulación se llevó a cabo utilizando como estrategias de gestión de carga el precio variable de la energía: tarifa flexible y por tiempo de uso. La microrred fue modelada matemáticamente y analizaron los impactos obteniendo como resultado que, los consumidores utilizan una cantidad mínima de electricidad de la red y pudieron vender el excedente de energía a la red

Los trabajos presentados están enfocados al uso eficiente de la energía, a la inclusión de fuentes alternativas de generación de energía eléctrica; en Colombia también se han realizado estudios en este tema, además existen políticas enfocadas al uso eficiente y racional de la energía, es así como en el 2001 a partir de la Ley 697 de 2001 y de la expedición de decretos reglamentarios, entre ellos el que crea la Comisión Intersectorial para el Uso Racional y Eficiente de la Energía y Fuentes no Convencionales (CIURE). El Decreto 3683 de 2003 reglamentó la Ley 697 de 2001, creó la Comisión Intersectorial para el Uso Racional y Eficiente de la Energía y Fuentes No Convencionales de Energía (CIURE), del. El Decreto 3683 de 2003, creó el Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía y Fuentes No Convencionales – PROURE, mediante Resolución 180919 de 2010 adopta el Plan de Acción Indicativo 2010-2015 para desarrollar el Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía y demás Formas de Energía No Convencionales –PROURE. Se emitió la norma técnica Colombiana NTC-ISO 50001, es un estándar internacional de gestión de la energía destinado a reducir las emisiones de gases de efecto de invernadero y otros impactos ambientales. Establece los sistemas y procesos para mejorar el desempeño energético dentro de las organizaciones, en donde se incluye el uso racional y eficiente de la energía, entre otras [9], [10], [11].

Mediante Resolución 41430 del 29 de diciembre del 2015, prorroga el Plan De Acción Indicativo de Eficiencia Energética hasta el 2022, tiene como objetivo “definir las acciones estratégicas y sectoriales que permitan alcanzar las metas en materia de eficiencia energética; de manera que se contribuya a la seguridad energética y al cumplimiento de compromisos

internacionales en temas ambientales; generando impactos positivos en la competitividad del país y en el incremento de la calidad de vida de los colombianos” [11].

El Plan considera cuatro frentes estratégicos: I) El autoabastecimiento energético y la sostenibilidad ambiental; II) La diversificación de la matriz energética; III) La articulación de políticas de uso eficiente de energía con otras políticas sectoriales, particularmente con la de transporte; y IV) El establecimiento de medidas para contribuir a la conservación del medio ambiente a través del uso de tecnologías eficientes energéticamente [11].

Teniendo en cuenta los trabajos presentados enfocados al uso eficiente de la energía, a la inclusión de fuentes alternativas de generación de energía eléctrica y a las políticas establecidas en Colombia en este tema se desarrolló este trabajo que presenta la gestión automática de carga con el fin de poder abastecer la demanda de energía eléctrica de una vivienda urbana en la ciudad de Popayán, usando energía fotovoltaica como fuente principal, para su implementación se requiere conocer la forma en que consume la energía, información necesaria para que los usuarios puedan tener control sobre sus consumos y así brindarles las herramientas necesarias para que tomen las decisiones que les permitan disponer de energía solar fotovoltaica la mayor parte del tiempo y poco uso de la red pública de energía, disminuyendo la dependencia de esta última, para lograrlo, el usuario dispone de una transferencia automática y manual de los circuitos eléctricos de la vivienda entre la red pública (REP) y la red fotovoltaica (SFVA); en la transferencia manual el usuario puede hacer transferir los circuitos que desee, en el momento que lo desee desde la red fotovoltaica a la red pública y viceversa, tomar la decisión y control de tener los circuitos alimentados solo con la red pública o solo la red fotovoltaica, esta última está sujeta a la disponibilidad de energía que depende de la radiación solar.

En este documento se encuentra la sección 2 la metodología; en la sección 3 el desarrollo del proyecto con el diagrama de flujo del algoritmo de programación y la supervisión mediante interfaz – hombre – máquinas;

en la sección 4 resultados y análisis; en la sección 5 conclusiones.

2. METODOLOGÍA

El desarrollo del proyecto está enfocado a investigación aplicada mediante la implementación de un sistema automático de gestión de carga en una vivienda urbana de estrato 4 en la ciudad de Popayán, municipio del departamento del Cauca, donde se considera como red principal el sistema fotovoltaico, en su ejecución se realizan pruebas para evaluar el funcionamiento de los equipos y la programación realizada para efectuar transferencia de carga (circuitos eléctricos) entre esta red y la red pública, posteriormente se hace análisis cualitativo y cuantitativo mediante técnicas estadísticas de los resultados obtenidos, con el fin de establecer conclusiones que nos lleven a identificar la operación del sistema.

El proyecto se inicia con la selección de los electrodomésticos que se usarán, estableciendo la importancia que tiene su uso por parte del cliente, para disponer de energía eléctrica solar manteniendo su confort; es decir se definió un orden de conexión de los circuitos, estableciendo como primero (prioritario) a la red fotovoltaica y la transferencia a la red pública (secundario); por otro lado se realizó la caracterización de la potencia de los equipos instalados, estableciendo la línea base para el cálculo de los componentes del sistema fotovoltaico y su diseño eléctrico.

A partir de la selección de componentes y diseño eléctrico, se realizan pruebas de caracterización de carga y descarga del banco de acumulación seleccionado, autoconsumo del inversor de voltaje y parámetros técnicos de conexión de los componentes del sistema fotovoltaico, adicionalmente se realiza la caracterización de consumo de los circuitos de la vivienda de prueba donde se implementará el sistema de gestión de carga y autogeneración de energía (red eléctrica y energía solar fotovoltaica). A partir de los datos y parámetros de caracterización obtenidos, se establecen las condiciones de control en función del porcentaje de carga y descarga del banco de acumulación para los circuitos de la vivienda a intervenir, mediante el sistema de gestión de carga; es decir, se establece los porcentajes de carga del banco de acumulación en los cuales se puede atender la demanda por circuito mediante sistema solar y a partir de qué valores debe hacer transferencia a la red pública.

Una vez obtenidos los parámetros de: voltaje, carga de

banco de acumulación, potencia en paneles, número de circuitos de la vivienda y potencia promedio de consumo por circuito; se procede a la selección de actuadores, sensores y componentes de control; que permiten la implementación de un sistema de gestión de carga para el suministro de energía solar fotovoltaica a los circuitos de prueba, conexión y desconexión de circuitos, garantizando la transferencia de los circuitos a la red eléctrica domiciliar de forma automática, de acuerdo a las condiciones de control establecidas, procedimiento que se explica en los siguientes numerales

2.1 Control

Para la implementación del sistema de control se seleccionaron los componentes de la fuente de generación fotovoltaica, para lo cual se estimó un consumo promedio de 7 kWh/día, en una vivienda de estrato 4 con 5 habitantes, de los cuales 3 son adultos y 2 son niños en edad escolar, además se consideraron las pérdidas y días de autonomía. En la tabla II se muestra la elección de equipos.

Tabla II. Descripción de materiales de sistema de generación fotovoltaica

No.	Equipo	Descripción	Unidades
1	Panel solar policristalino	Panel solar 325w, 24v, 72 celdas policristalinas, Imp 8.6A, Vmp 37.8v	6
2	Controlador de carga	Controlador de carga 48v, Capacidad máxima de entrada 60Ah, Protección IP31, Display-LCD	1
3	Batería libre de mantenimiento	Batería 2v, Capacidad 400Ah, mínimo 600 ciclos	24
4	Inversor de Vcc a Vca	Inversor PI 1200-L60, 48v, Potencia máxima 3000w	1
	Medidor Instantáneo de energía eléctrica	Medidor Efergy multifilar, con sensores de corriente y conexión WiFi para transferir datos	
	Controlador Lógico Programable	CPU 1215C AC/DC/Rly	

	Módulo de entradas análogas	de 6ES7231-4HD32-0XB0 SM 1231 AI4 x HF, Siemens	
5	Pantalla de interfaz gráfica, HMI	de Touch panel TP277, Siemens	1
	Transductores de voltaje de CC	de Transductor de voltaje 70 VCC, salida de 0 - 10 VCC	
	Transductores de corriente CA	de Transductor de voltaje 5 A CA, salida de 0 -1 0 VCC	
	Transductores de voltaje CA	de Transductor de voltaje 120 VCA/230 VCA, salida 0 - 10 VCC	
6	Materiales eléctricos	Cableado y protecciones	

En la implementación del sistema de gestión de carga se consideraron 3 circuitos a los que estaban conectados los siguientes electrodomésticos:

- C1: Nevera, licuadora, microondas
- C2: TV rayos catódicos, iluminación
- C3: Lavadora, iluminación, TV rayos catódicos, computador portátil.

El funcionamiento del sistema de gestión de carga depende de las restricciones que se presentan en la generación de energía fotovoltaica, dado que depende de las horas de sol disponibles en el lugar, que se traducen en la disponibilidad de voltaje en el banco de acumulación, por lo que la transferencia automática y secuencial de los circuitos de prueba (C1, C2 y C3) desde el Sistema Fotovoltaico Aislado– SFVA- (fuente principal de energía) a la red pública –REP- teniendo en cuenta el nivel de voltaje disponible en el banco de acumulación.

A partir de la caracterización de carga/descarga del banco de acumulación y teniendo en cuenta las condiciones de gestión de carga, la comodidad del usuario y los parámetros técnicos de reserva en bancos de acumulación (30%); se establecen tres valores de control presentados en la siguiente tabla.

Tabla III. Porcentajes de carga y voltaje en banco de acumulación de control

% Carga	Voltaje desconexión	Desconexión del SFV	Conexión a la REP
50	47,88	C1	C1
40	46,69	C1 y C2	C1 y C2
30	45,5	C1, C2 y C3	C1, C2 y C3

Las condiciones establecidas para hacer transferencia desde SFV a la REP, están dadas por los requerimientos que tiene cada cliente en cuanto a qué electrodomésticos quieren estén funcionando con la SFV y a las restricciones de funcionamiento a que está sometido el sistema como autoprotección de los inversores y evitar la carga profunda de los acumuladores.

Considerando las restricciones del sistema y las estrategias de gestión de carga se establece un sistema de control en lazo cerrado por comparación de voltaje del banco de acumulación (BA) y los valores de voltaje establecidos en la caracterización del BA del SFVA, se establecen niveles de carga de forma dinámica en tiempo real del sistema, ver tabla IV:

Tabla IV criterios de transferencia

Condición número	Criterio de transferencia, según porcentaje de carga del banco de acumulación	Circuitos que se transfieren
1	$100\% \geq \%C \geq 50\%$	C1, C2 y C3 se alimentan del SFVA
2	$50\% > \%C \geq 40\%$	C1 es transferido a REP, C2 y C3 se alimentan del SFVA.
3	$40\% > \%C \geq 30\%$	C1 y C2 son transferidos a REP, C3 se alimentan del SFVA.
	$\%C < 30\%$	C1, C2 y C3 son transferidos a REP.

Cuando el sistema está al 50% de la carga del BA, se da una señal de alarma visual para que el usuario se entere que se va a realizar transferencia a la red pública del primer circuito, en este caso el cliente puede apagar en forma manual el circuito que desee, en caso de no hacerlo el sistema lo realizará en forma automática.

Cuando el sistema está al 40% o al 30% de la carga del BA, igual que en el primer caso se da una señal de alarma visual para que el usuario se entere que se va a realizar transferencia a la red pública del segundo o tercer circuito, en este caso el cliente puede apagar en forma manual el circuito que desee, en caso de no hacerlo el sistema lo realizará en forma automática.

Una vez realizada transferencia total de los circuitos (al 30%) a la red pública, se da una espera mínima de 2 horas para que se cargue el SFVA; una vez cumplida esta condición, se realiza comparación con el 70% de carga del BA, si el porcentaje de carga es aún menor, se repite proceso.

La transferencia manual puede ser realizada por el usuario se hace desde la parte frontal del cofre mediante el sistema de control, pulsando los botones de transferencia de cada circuito del SFVA o de la REP, o mediante la pantalla de interfaz gráfica HMI, las cuales se presentan en la Figura 4.

2.2 Programación

El sistema de control y supervisión se realizó con el controlador lógico programable Siemens 1215C AC/DC/Rly y la pantalla de interfaz gráfica (HMI) TP277. El sistema se implementó en una vivienda existente en la cual no se podía modificar los circuitos eléctricos, es así el sistema adquirido es para un sistema monofásico bifilar y la vivienda cuenta con un sistema monofásico trifilar, por lo que es necesario distribuir carga entre los dos inversores. La programación se puede representar de manera general y resumida mediante el diagrama de bloques presentado en la Figura 1, en la Figura 2 se presenta el diagrama de flujo con el cual se realizó la programación:

Figura 1. Diagrama de bloques general del programa de gestión de carga

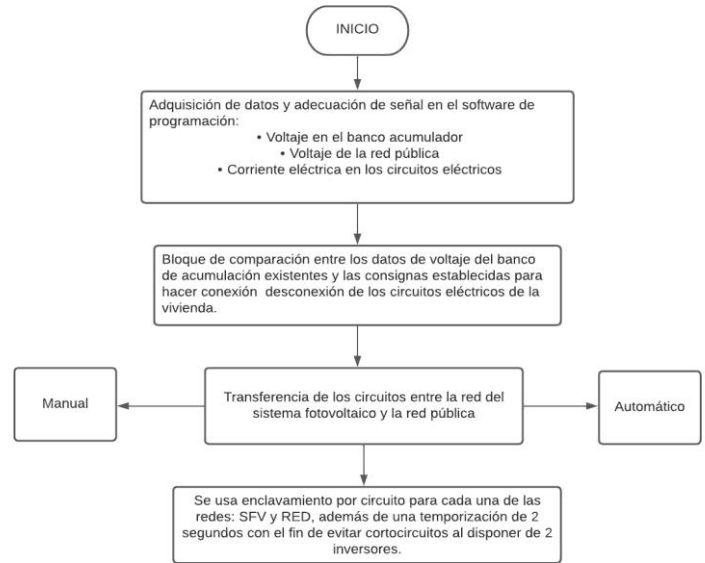
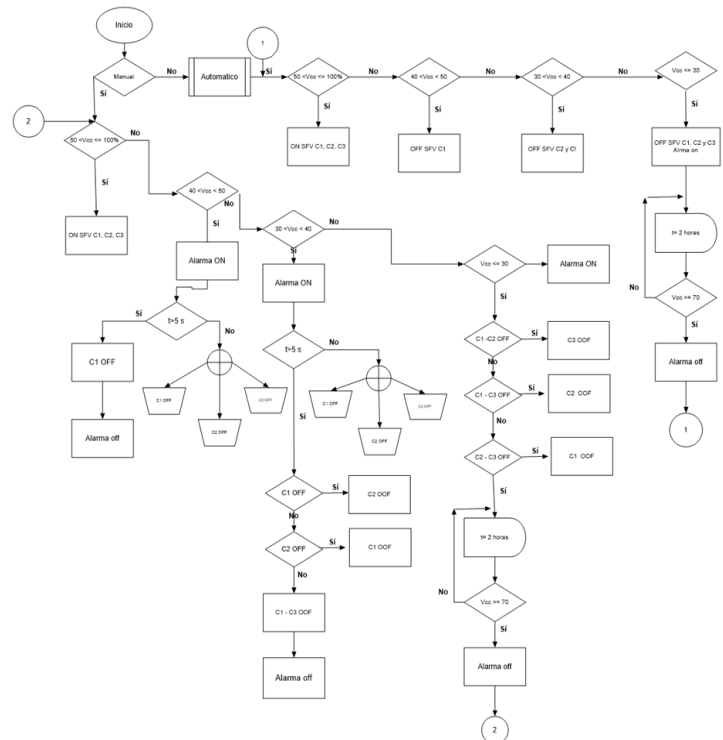


Figura 2. Diagrama de bloques de la programación del controlador lógico programable – gestión carga

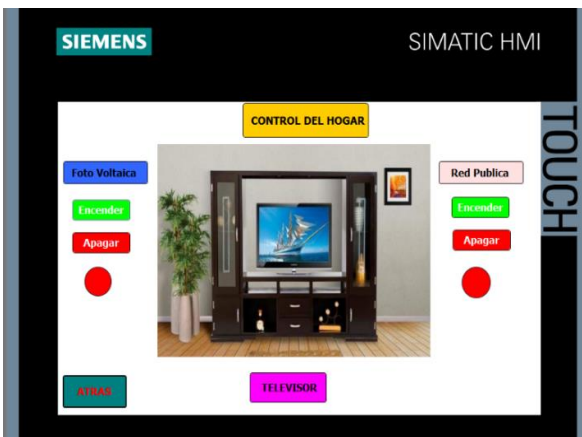
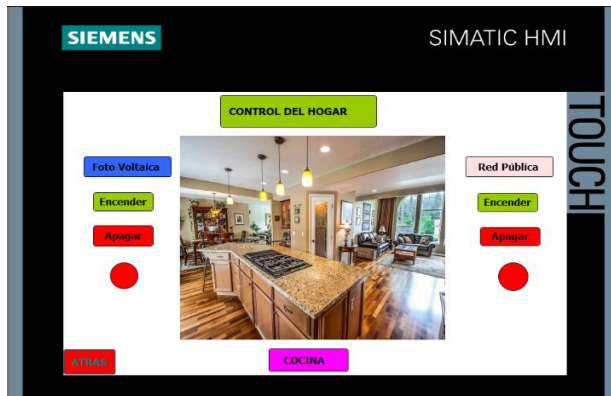


2.2 Supervisión

La supervisión y el control manual se realiza a través de la pantalla de interfaz gráfica (HMI) Ver Figura 3, programada en diferentes ventanas así:

- Ventana desde la cual se puede acceder a cada una de las imágenes de las aplicaciones de los circuitos como la cocina, la nevera, la lavadora, el banco de acumulación y el sistema de control manual.
- Ventana del banco de acumulación se presenta mediante un indicador de barra el porcentaje de carga del banco de acumulación.
- Cada circuito o aplicación tiene su propia ventana desde donde se puede poner en funcionamiento los circuitos desde el SFVA o la REP, además se dispone de indicador luminoso para conocer a que red eléctrica está conectado el circuito.

Figura 3 Imágenes de algunas de las pantallas de control desde la interfaz hombre – máquina

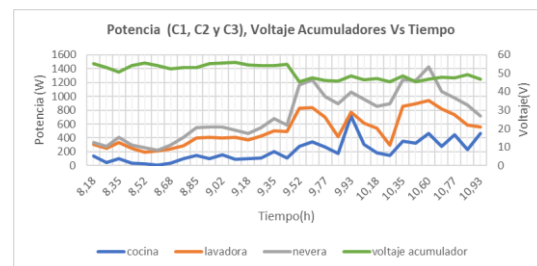


3. RESULTADOS

Se desarrolló un sistema de gestión de carga (SGC) mediante HMI que permite seleccionar y modificar de manera dinámica y sencilla por parte del usuario final u operario la fuente de alimentación de los circuitos priorizados (C1, C2 y C3) en una vivienda, entre SFVA o REP. Mediante los resultados obtenidos, se evidencia que el desarrollo del sistema de gestión de carga permite el funcionamiento ininterrumpido de los circuitos priorizados y el control de transferencia automática y manual en cada uno de los circuitos de forma independiente,

El sistema de gestión de carga integra autogeneración energética (SFVA y REP), de forma estable para el suministro de energía eléctrica a circuitos priorizados en la vivienda de prueba; logrando la alimentación total o parcial de las cargas establecidas sin afectar el servicio o comodidad del usuario final de acuerdo a la planeación; de forma paralela se logró el registro, supervisión y control de la energía disponible en el SFVA en tiempo real de acuerdo a condiciones de control, y el registro de consumo de energía requerido por la vivienda; en la Figura 4 se evidencia el suministro de energía a partir del banco de acumulación del SFVA implementado según los circuitos priorizados y la relación existente entre la carga del banco de acumulación y consumo de los circuitos.

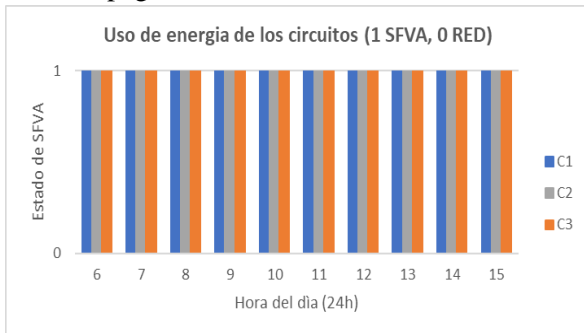
Figura 4 Potencia disponible en el banco de acumulación



En la Figura 5 se puede apreciar el suministro de energía a los tres circuitos de prueba desde el SFVA, con un consumo promedio de 4 kWh en este periodo de tiempo, teniendo un caso de independencia energética

respecto a la REP y aprovechamiento al 100% de la energía solar.

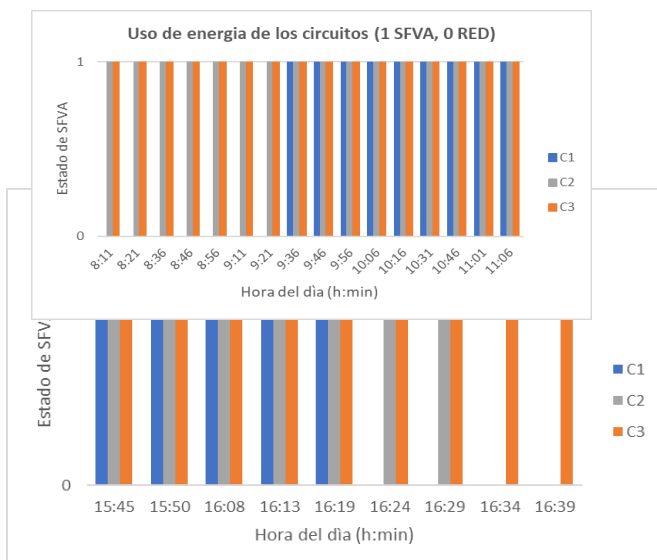
Figura 5 Funcionamiento de los circuitos 1 encendido 0 apagado



De igual forma se logra establecer la gestión de carga a partir de la supervisión y control de la energía disponible en banco de acumulación, relacionada a partir del voltaje de este y gestionada como entrada analógica por el PLC del sistema y las condiciones de control establecidas; dichas condiciones de control dependen del porcentaje de carga del banco de baterías.

En la figura 6 se muestra el suministro de energía a C2 y C3 desde el SFVA, sin embargo, hasta las 9h y 36 min, el C1 es alimentado por la REP; Al alcanzar de nuevo el nivel de carga superior al 70% de su capacidad y teniendo en cuenta la condición de control, se realiza la transferencia de la REP a el SFVA del C3, retomando la alimentación total desde el SFVA.

Figura 6 Energización de los circuitos desde el sistema fotovoltaico



Finalmente, en la Figura 7 se presenta una doble transferencia para C1 y C2; se presenta alimentación desde el SFVA a C1, C2 y C3 hasta las 16h y 24 min, en este momento se realiza una salida de C1 del SFVA y pasa a la REP, a las 16 h y 34 min se presenta la salida de C2 del SFVA y pasa a REP, quedando únicamente alimentado el C3 desde el SFVA.

Figura 7 Energización de los circuitos desde la red publica (0) y el sistema fotovoltaico (1)

4. DISCUSIÓN

Mediante el desarrollo del proyecto, se logra establecer el potencial de aplicación de SGC que integren SFVA como fuente de alimentación alternativa y/o complementaria a la REP (autogeneración), de forma programada y a partir de parámetros seleccionados por el usuario final y/o priorización por: seguridad, comodidad, horas pico de consumo, soporte para cargas ininterrumpibles o reservas de soporte energético especiales; lo cual puede contribuir a la masificación de políticas nacionales y mundiales que buscan la diversificación de la matriz energética y como estrategia para el incremento de la autonomía energética en edificaciones.

El sistema de gestión de carga apoyado en autogeneración energética desarrollado demuestra la posibilidad de realizar intervención total o parcial a los circuitos de una vivienda o edificación cualquiera, a partir de parámetros establecidos por el diseñador o por el usuario final; de igual forma se evidencia la posibilidad de registro, gestión y control de los consumos por circuito, orientado a programas de gestión y eficiencia energética de manera amigable y confiable;

El desarrollo e integración de una interfaz HMI amigable con cualquier tipo de usuario permite a los usuarios finales, contar con un SGC que puede ser supervisado y administrado de forma dinámica de acuerdo con necesidades en: tiempo, prioridad o proceso requerido; garantizando la estabilidad del sistema, reducción de costos de operación y seguridad energética.

Se logra evidenciar el potencial de integrar sistemas de

generación de energía renovable (solar FV), lógica cableada y lógica programada, así como interfaz hombre maquina sobre infraestructura eléctrica de edificaciones, que permiten la implementación eficiente y dinámica de sistemas de autogeneración energética en viviendas o edificaciones para suplir total o parcialmente (circuitos seleccionados) la demanda de energía, considerando de manera flexible: el presupuesto, el diseño eléctrico de la edificación, el consumo de energía, la energía disponible en el SFVA o la estabilidad y servicio de la REP; lo cual se evidencia en los resultados obtenidos en las pruebas del sistema de gestión de carga, en una vivienda de estrato 3 en condiciones reales de operación familiar, donde no fue posible modificar la distribución de los circuitos ramales, condiciones de REP o similares; con lo cual se demuestra la posibilidad de aplicación de este tipo de sistemas en todo tipo de edificación de manera confiable y eficiente.

El desarrollo de este proyecto apunta al cumplimiento de normativas nacionales y mundiales que fomentan el uso de energía alternativas como la solar fotovoltaica para atender la demanda evitándose en lo posible la construcción de nuevas centrales, la disminución de emisiones de CO₂, apuntar a la implementación de Smart Grid, lo cual está en concordancia con algunos de proyectos desarrollados, entre los que se tienen los implementados por Fadiran, Yuill, Chowdhury y Chowdhury [2]: gestión de carga programable (Programmable Load Manager, PLM); optimización en el uso de los electrodomésticos en una vivienda inteligente por Tsui y Chan [3] y el control predictivo para minimizar los costos de operación de una microrred de biomasa por Zheng, Jenkins, Kornbluth, Kendall y Chresten Træholt [4] además considera tarifa de tiempo de uso (TOU). En Colombia apenas comienza la implementación de estrategias de gestión de carga con tarifas en función del tiempo.

5. CONCLUSIONES

Se obtuvo un sistema de gestión de carga, que permite la transferencia automática o manual entre el sistema solar fotovoltaico (aislado) y la red pública de energía, de acuerdo a las condiciones de control, a partir

del voltaje en el banco de acumulación, que se pueden observar en las tablas 3 y 4.

Se evidencia la implementación de un sistema de gestión de carga usando autogeneración desde un SFVA con soporte de la REP en forma programada, teniendo en cuenta las restricciones del SFVA y de los parámetros seleccionados por el usuario de acuerdo con condiciones de: seguridad, comodidad, horas pico, soporte para cargas in-interrumpibles o reservas de soporte energético especiales, logrando manteniendo la estabilidad del sistema, reducción de costos de operación y seguridad energética.

Se logra el desarrollo de una interfaz amigable con el usuario (HMI), que le permite supervisar y controlar en forma dinámica el suministro de energía a los circuitos establecidos, mediante funciones de control automático o manual para realizar la transferencia de los circuitos eléctricos entre el SFVA y la REP, según restricción del voltaje en el banco acumulador. En el modo automático el sistema tiene definido la secuencia de transferencia de los circuitos, mientras que en el modo manual el usuario puede definir el orden deseado.

De otro lado el desarrollo de este tipo de sistemas permite la masificación de SFVA u otro tipo de energía renovables en viviendas, empresas, edificios, industria y en general en cualquier aplicación que requiera energía eléctrica, al uso eficiente y racional de la energía eléctrica, a la implementación de estrategias de gestión de carga que permitiría modificar los patrones de consumo de energía posponiendo la construcción de nuevas centrales eléctricas por parte de las empresas de energía para abastecer la demanda, contribuyendo a mejorar las condiciones climáticas.

REFERENCIAS

- [1] Galván López, E., Taylor, A., Clarke, S., Vinny, C., (2014). Design of an automatic Demand-Side Management system based on evolutionary algorithms. Proceedings of the ACM Symposium on Applied Computing. 10.1145/2554850.2554959.
- [2] Fadiran ,J. I., Yuill W., Chowdhury, S., Chowdhury ,S.P. (2012). Practical Demand Side Management - A Programmable Load Manager. IEEE PES T&D 2012.
- [3] Tsui, K. M., Chan, S. C., (2012). Demand response optimizations for smart home scheduling under real – time pricing. IEEE transactions on smart grid. Vol. 3, no. 4.
- [4] Zheng, Y., Jenkins, B. M., Kornbluth, K., Kendall, A., & Træholt, C. (2018). Optimization of a biomass-integrated renewable energy microgrid with demand side management under uncertainty. *Applied Energy*, 230, 836–844. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.09.015>
- [5] Murugaperumal, K., & Raj, P. A. D. V. (2019). Integrated energy management system employing pre-emptive priority based load scheduling (PEPLS) approach at residential premises. *Energy*, 186, 115815. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.07.145>
- [6] Noghreian, E., & Koofigar, H. R. (2020). Power control of hybrid energy systems with renewable sources (wind-photovoltaic) through switched systems strategy. *Sustainable Energy, Grids and Networks*, 21, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.segan.2019.100280>
- [7] Sarker, E., Seyedmahmoudian, M., Jamei, E., Horan, B., & Stojcevski, A. (2020). Optimal management of home loads with renewable energy integration and demand response strategy. *Energy*, 210. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118602>
- [8] Hemmatia, M., Ivatlooa. B. H., Abapoura M., Anvari-Moghaddamc A. (2020). Day-ahead profit-based reconfigurable microgrid scheduling considering uncertain renewable generation and load demand in the presence of energy storage. *Journal of Energy Storage*
- [9] Documentos para ENERGÍA ELÉCTRICA: Uso Racional y Eficiente. <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/listados/tematica2.jsp?subtema=24354>.
- [10] Energía, Especial Eficiencia Energética, Colombia Normatividad Eficiencia Energética y Uso De Energías Alternativas, <https://aidterritorial.wordpress.com/2014/06/01/>, 01-06-2014.
- [11] Ministerio de Minas y Energía, UPME. (2016). Plan de acción indicativo de eficiencia energética 2017 – 2022. https://www1.upme.gov.co/Documents/PAI_PROURE_2017_2022.pdf
- [12] Dabur, P., Sinhg G., Yadav, N. (2012) Electricity demand side management: various concept and prospects. *International journal of recent technology and engineering (IJRTE)* ISSN: 2277_3878, volume-1, issue-1.
- [13] Hungerford, Z., Bruce, A., & MacGill, I. (2019). The value of flexible load in power systems with high renewable energy penetration. *Energy*, 188, 115960. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.115960>
- [14] Jafari, M., & Malekjamshidi, Z. (2020). Optimal

- energy management of a residential-based hybrid renewable energy system using rule-based real-time control and 2D dynamic programming optimization method. *Renewable Energy*, 146, 254–266. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.06.123>
- [15] Kafetzis, A., Ziogou, C., Panopoulos, K. D., Papadopoulou, S., Seferlis, P., & Voutetakis, S. (2020). Energy management strategies based on hybrid automata for microgrids on island with renewable sources, batteries and hydrogen. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 134. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110118>
- [16] Leithon, J., Werner, S., & Koivunen, V. (2020). Cost-aware renewable energy management: Centralized vs. distributed generation. *Renewable Energy*, 147, 1164–1179. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.09.077>.
- [17] Lopez, E. G., Taylor, A., Clarke, S., and Caill, V. Design of an automatic demand-side management system based on evolutionary algorithms. Distributed system group, school of computer Science and statistics, trinity college Dublin.
- [18] Parra, D., Norman, S. A., Walker, G. S., & Gillott, M. (2017). Optimum community energy storage for renewable energy and demand load management. *Applied Energy*, 200, 358–369. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.05.048>
- [19] Rullo, P., Braccia, L., Luppi, P., Zumoffen, D., & Feroldi, D. (2019). Integration of sizing and energy management based on economic predictive control for standalone hybrid renewable energy systems. *Renewable Energy*, 140, 436–451. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.03.074>
- [20] Tabar, V. S., & Abbasi, V. (2019). Energy management in microgrid with consideration of high penetration of renewable resources and problem of generation of surplus energy. *Energy*, 189. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116264>
- [21] Teki, V. K., Maharana, M. K., & Panigrahi, C. K. (2020). Study on home energy management system with battery storage for peak load shaving. *Materials Today: Proceedings*, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.377>

Evaluación de la influencia de la concentración y el tipo de catalizadores ácido y base sobre la producción del biodiesel proveniente del aceite de la fritura de pollo

Evaluation of the influence of the concentration and type of acid and base catalysts on biodiesel production from chicken frying oil

Téllez Cobos Luz Ángela¹
Luz.tellez@unipaz.edu.co

Instituto Universitario de la Paz, Escuela de Ingeniería de Producción, Grupo de Investigación en Reingeniería, Innovación y Productividad, GREIP (1)

Recibido: mayo 02 de 2023 – Aceptado: junio 14 de 2023

Resumen

La producción de biodiésel en Colombia utiliza como materia prima el aceite de palma; sin embargo, los costos asociados con dicha materia, representa entre el 70% y 90% del costo de producción. Una alternativa para reducir los costos es el cambio de materia prima por aceite usado de cocina, por lo tanto, el objetivo esta investigación fue la evaluación de la influencia de la concentración y el tipo de catalizadores ácido y base sobre la producción del biodiesel proveniente del aceite de la fritura de pollo. La reacción de transesterificación se realizó usando los siguientes catalizadores: hidróxido de potasio (KOH) y ácido sulfúrico (H₂SO₄) con concentraciones al 1% y 4% para cada catalizador con respecto al aceite (v/v). El biodiésel se caracterizó mediante cromatografía de gases (determinación de ésteres metílicos, monoglicéridos, diglicéridos y triglicéridos), índice de peróxidos, índice de acidez, índice de yodo, densidad, índice de refracción y humedad.

La muestra del catalizador con hidróxido de potasio (KOH) con la concentración del 1%, obtuvo los siguientes resultados: metil ésteres de 96.23 % con un rendimiento 63%, 28.20 meq de O₂/kg Índice de peróxidos, 0.27 mg KOH/g de índice de acidez, 79.78 g de yodo/100 g de índice de yodo, densidad 0.88 g/cm³, índice de refracción 1.448 Nd y humedad 200 mg/kg.

En cambio, el catalizador con hidróxido de potasio (KOH) con la concentración del 1% obtuvo los siguientes resultados: metil ésteres fue al 96.23 % con un rendimiento, Índice de peróxidos se obtuvo 28.20 meq O₂/kg, índice de acidez 0.27 mg KOH/g, índice de yodo 79.78 g de yodo/100 g, densidad 0.88 g/cm³, índice de refracción 1.448 Nd y humedad 200 mg/kg.

Los resultados del estudio confirman que los mejores resultados, se presentaron bajo las condiciones del 1% con hidróxido de potasio, con este aceite usado de fritura de pollo se cumple con la mayor parte de la normatividad como (índice de acidez, índice de refracción, densidad, humedad, índice de yodo, índice de peróxidos y FAMES) establecida en Colombia, disminuyendo los costos de producción. En cuanto al catalizador ácido no fue posible obtener biodiesel a que la reacción conduce hacia la saponificación.

Palabras clave: Transesterificación, catalizador, cromatografía de gases

Abstract

The production of biodiesel in Colombia uses palm oil as raw material; however, the costs associated with said material represent between 70% and 90% of the production cost. An alternative to reduce costs is the change of raw material for used cooking oil, therefore, the objective of this investigation was the evaluation of the influence of the concentration and the type of acid and base catalysts on the production of biodiesel from the chicken frying oil. The transesterification reaction was carried out using the following catalysts: potassium hydroxide (KOH) and sulfuric acid (H₂SO₄) with concentrations of 1% and 4% for each catalyst with respect to oil (v/v). The biodiesel was characterized by gas chromatography (determination of methyl esters, monoglycerides, diglycerides and triglycerides), peroxide index, acid index, iodine index, density, refractive index and humidity.

The sample of the catalyst with potassium hydroxide (KOH) with a concentration of 1%, obtained the following results: methyl esters of 96.23% with a yield of 63%, 28.20 meq of O₂/kg Peroxide value, 0.27 mg KOH/g of acid value, 79.78 g iodine/100 g iodine value, density 0.88 g/cm³, refractive index 1.448 Nd and humidity 200 mg/kg.

On the other hand, the catalyst with potassium hydroxide (KOH) with the concentration of 1% obtained the following results: methyl esters was 96.23% with a yield, peroxide value was obtained 28.20 meq O₂/kg, acid value 0.27 mg KOH /g, iodine value 79.78 g iodine/100 g, density 0.88 g/cm³, refractive index 1.448 Nd and humidity 200 mg/kg.

The results of the study confirm that the best results were presented under the conditions of 1% with potassium hydroxide, with this used chicken frying oil it complies with most of the regulations such as (acid index, refractive index, density, humidity, iodine index, peroxide index and FAMES) established in Colombia, reducing production costs. As for the acid catalyst, it was not possible to obtain biodiesel as the reaction leads to saponification.

Keywords: Transesterification, catalyst, gas chromatography

1. INTRODUCCIÓN

Es un hecho que la generación de energía a partir de combustibles fósiles es una de las principales actividades antropogénicas que ocasionan problemas ambientales como contaminación atmosférica por emisión de gases tóxicos y el calentamiento global debido a la emisión de gases un hecho que la generación de energía a partir de combustibles fósiles es una de las principales actividades antropogénicas que ocasionan problemas ambientales como contaminación atmosférica por emisión de gases tóxicos y el calentamiento global debido a la emisión de gases [1]. Partiendo de esta realidad, la búsqueda de fuentes energéticas renovables y ambientalmente sostenibles como los biocombustibles, se ha convertido en tema de investigaciones y debates a nivel mundial; es donde comienza la tecnología de producción más limpia ha sido definida como la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva, integrada a los procesos, productos y servicios, del bien social, sanitario, ambiental y de la seguridad de los seres humanos [1].

La Agencia Internacional de la Energía (IEA, por sus siglas en inglés) publicó el pasado 27 de octubre su informe World Energy Outlook 2022, que proyecta que el consumo mundial de biocombustibles podría duplicarse con creces en 2030 y seguir aumentando hasta

2050 [2]. Sin embargo, esta industria posee algunos inconvenientes; primero que emplea como materia prima productos que se obtienen de cultivos de alimentos, segundo el aumento en la producción implica que se requiere de algún método de implementación de aceite usado de cocina después de su uso; debido a que este desecho, plantea un gran problema ambiental, tal es el caso de que 1 L de aceite desechado a la tubería contamina en promedio 1000 L de agua [3].

El objetivo principal de investigación es evaluar la influencia de la concentración y el tipo de catalizadores ácido y base sobre la producción del biodiesel proveniente del aceite de la fritura de pollo; para esto se requirió caracterizar la materia prima (aceite usado proveniente de la fritura de pollo). En donde se especifican los parámetros fisicoquímicos en la cual son necesarios para una reacción de transesterificación en la producción de biodiesel. Para esta investigación, se llevó a cabo variado la concentración de los catalizadores de ácido base, en donde la caracterización física fue comparada con los parámetros de la NTC 5444. Como resultado de esta investigación, el mejor proceso experimental se dio utilizando el catalizador básico (KOH) al 1% teniendo rendimiento del 85%, utilizando como materia prima el aceite de fritura usado de pollo.

II. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

I. MATERIALES Y MÉTODOS

El aceite de fritura de pollo fue adquirido en asaderos de pollo a la broaster. Por otro lado, el metanol de 98% de pureza y el hidróxido de potasio de 85% de pureza fue obtenido en el laboratorio del Instituto Universitario de la Paz “UNIPAZ”.

Se realiza un pretratamiento a la muestra: Se recolectaron 5 l de aceite de fritura de pollo en el cual se realizó secado y filtración, para la eliminación de sus impurezas presentes en el aceite. Una vez filtrado el aceite se guardó en 5 recipientes de vidrio cada uno de 1 l de capacidad, a temperatura ambiente, hasta su uso en las pruebas experimentales. Luego se realiza un análisis químicamente el aceite usado proveniente de la fritura de pollo como: índice de acidez (NTC 218), índice de peróxido (NTC 236), índice de yodo (NTC 283), índice de saponificación (NTC 445) y físicamente como densidad (NTC 336), índice de refracción, (NTC 289), índice de humedad (NTC 287).

Después, de identificar que las condiciones de la materia prima (aceite) son aptas para la producción de biodiesel (según NTC 5444), se prosiguió evaluar el rendimiento de la naturaleza del catalizador por medio de la reacción de transesterificación con respecto a las variables involucradas en el cuadro 1 se describen las condiciones con las cuales se trabajará la investigación.

Numero de muestras	CATALIZADOR	RELACIÓN ALCOHOL: ACEITE	CONCENTRACIÓN DEL CATALIZADOR (% V/V)	TEMPERATURA	TIEMPO RX	AGITACIÓN
1	KOH	Metanol: aceite 3:1	4%	55°C	2 horas	150 rpm
2			1%			
4	H ₂ SO ₄	Metanol: aceite 3:1	4%	55°C	2 horas	150 rpm
5			1%			

Cuadro 1. Condiciones experimentales para los ensayos del laboratorio.

Al obtener el biodiesel se realizar análisis físico en densidad (NTC 336), índice de refracción, (NTC 289) y índice de humedad (NTC 287) y en la parte química se analizó pruebas como índice de acidez (NTC 218), índice de Peróxido (NTC 236), índice de yodo (NTC 283), índice de saponificación (NTC 445).

A. Caracterización fisicoquímicamente del aceite proveniente de la fritura de pollo

Análisis físico del aceite usado proveniente de la fritura de pollo. Los análisis físicos a la muestra, fueron llevados a cabo mediante los procedimientos según las normas NTC, los resultados se muestran en el siguiente cuadro:

Caracterización	Resultados obtenidos	Parámetros establecidos
Densidad experimental [g/cm ³]	0.91	0.86-0.91 (NTC 336)
Índice de refracción (Nd)	1.468	1.460-1.500 (NTC 289)
Humedad (mg/kg)	0.31	0,05 máximo parámetro NTC 287

Cuadro 2. Caracterización física del aceite usado proveniente de la fritura de pollo.

Como se observa, los resultados obtenidos se encuentran dentro de los parámetros establecidos, excepto la humedad; la densidad de la muestra cumple con la norma NTC 336, en la investigación de Xián Barros Piñero, empleando el aceite usado de cocina la densidad obtenida fue de 0.88 g/cm³. Este autor afirma que esta propiedad es muy importante, pues la cantidad de combustible, que los sistemas de inyección proporcionan a los motores debe ser medida con mucha precisión, de lo contrario no se lograría una combustión adecuada [4].

El índice de refracción, según Cristhian Alfredo Galeano León y sus colaboradores, menciona que este parámetro no incide en la producción del biodiesel ni en sus propiedades, ya que el propósito de la presente norma, es observar la relación de la velocidad de la luz, con su velocidad en el medio en otras palabras la claridad que tenga el biodiesel obtenido; estos autores en la caracterización de la grasa de fritura de pollo obtuvieron el mismo valor que esta investigación que para el caso fue 1.468 Nd [5].

El índice de humedad se determinó de acuerdo con la norma NTC 287, como la relación entre la masa de la muestra antes y después de ser secada en horno (Mommert) a 103 °C, se obtuvieron resultados de 0.31(mg/kg), también los autores Manuel Antonio Montenegro Mier et al., también obtuvieron valores por encima de la norma de 1.5 (mg/kg) situación que puede favorecer la proliferación microbiana, participar en la formación de emulsiones, causar corrosión del tanque e

hidrólisis u oxidación hidrolítica al biodiesel producido esto pudo ser producido estar mucho tiempo en contacto con el ambiente o no contar con un buen almacenamiento [6].

Análisis químico del aceite usado proveniente de la fritura de pollo: En el siguiente cuadro muestra los resultados del análisis química

Caracterización	Resultados obtenidos	Parámetros establecidos
Índice de acidez (mg KOH/g)	0,41	0,5 máximo (NTC 218)
Índice de yodo (g de yodo/100 g)	87,1	120 máximo (NTC 283)
Índice de peróxidos (meq de peróxido/kg)	0,57	máx. 5.0 meq O ₂ /kg. (NTC 236)
Índice de saponificación (mg KOH/g)	170,10	185,6-205.1 máximo (NTC 335)

Cuadro 2. Caracterización química del aceite usado proveniente de la fritura de pollo.

La materia prima empleada para esta investigación según la caracterización química, cumple con los parámetros establecidos en las normas NTC 5444, para la producción biodiesel. Para el caso del índice de acidez, en la cual está dentro del parámetro (0,41 mg KOH/g), en la investigación de Cristhian Alfredo Galeano León, el valor promedio obtenido en su investigación fue 0.362 % (g ácido oléico/100 g de aceite) es decir, son valores recomendados (< 0,5 mg KOH/g) para la obtención de biodiesel ya que en la transformación de ácidos grasos libres en esteres permite la reducción de la acidez de la materia prima y aumenta el rendimiento del aceite usado; utilizando catalizadores básicos homogéneos tales como hidróxido de sodio o potasio las grasas brutas, sin refinar, presentan por lo general un índice de acidez de hasta 5 g de ácido oléico/100 g de aceite, mientras que para los aceites refinados suele ser menor a 0.2 [5].

El índice de yodo representa la cantidad de este compuesto que puede adsorber el aceite vegetal en los enlaces insaturados (enlaces dobles carbono-carbono), es decir, que entre mayor sea el valor del índice mayor será la adsorción en los enlaces dobles presentes en el aceite; esto quiere decir que entre más alto sea el índice de yodo la oxidación del biodiesel es más baja y esto garantiza que se puede tener mucho más tiempo en almacenamiento. En esta investigación el índice de yodo

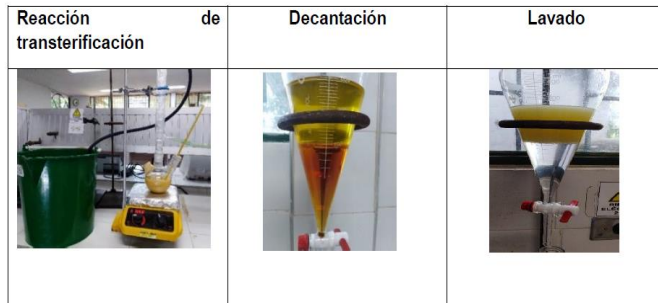
como resultado 87.1 g de yodo/100 g en la cual está por encima comparado con el resultado de la investigación Luis Monroy Rodríguez y colaboradores, que les dio 47.92 g de yodo/100 g, por lo tanto, para estos autores les favoreció las características del biodiesel obtenido, razón por la cual se obtuvieron buenos rendimientos de esta materia prima [7]. La determinación del índice de peróxido permite identificar el nivel de oxidación presente en las grasas; los resultados de esta investigación fueron 0.57 meq de peróxido/kg indican poca oxidación, encontrando un menor índice. Así se encontraba el estado de oxidación inicial del aceite fritura de pollo, este se asocia al enranciamiento de los aceites por lo general es un proceso natural, donde la composición de estos se altera con el tiempo, Cristhian Alfredo Galeano León, obtuvo 2.561 meq de peróxido/kg generando un cambio en las propiedades organolépticas, entre otras cosas; cuándo se menciona un cambio organoléptico se establece un cambio en el sabor, esta alteración que ha sufrido un proceso oxidativo intenso el enranciamiento puede ser por hidrólisis o por oxidación [8].

El índice de saponificación muestra la cantidad de hidróxido de potasio (KOH) que se necesita para saponificar (convertir en jabón) un gramo de aceite. Por lo tanto, para esta investigación por cada gramo de aceite fritura de pollo, se saponifica a partir de 102.52 mg de KOH.

B. Obtención de biodiésel con catalizador básico y ácido.

La reacción de transesterificación para la obtención del biocombustible se realizó en condiciones establecidas: relación molar metanol: aceite 3:1, porcentaje de catalizador 1% y 4%, utilizando como catalizador básico hidróxido de potasio (KOH) y ácido sulfúrico (H₂SO₄) como catalizador ácido. El alcohol seleccionado para esta reacción fue el metanol, ya que éste es empleado actualmente en las plantas de producción de biodiésel instaladas en Colombia. El tiempo de reacción fue de 2 horas. La reacción se montó en un balón de tres bocas de vidrio de 500 ml de capacidad, a una temperatura de 55°C y con constante de 150 rpm (ver cuadro 3). Al finalizar el tiempo de reacción, se obtuvieron 2 fases: biodiésel y glicerol, por lo cual se colocó la mezcla de reacción en un embudo de decantación, se permitió la separación de las 2 fases mediante decantación, se transfirió la fase superior (rica en biodiésel). Luego, se

llevó a cabo el lavado del biodiésel adicionando un volumen de agua correspondiente a 1/3 del volumen del biodiésel obtenido, se concedió la separación de fases y se descargó el agua.



Cuadro 3. Proceso de obtención del biodiesel.

Los rendimientos del biodiesel producido con respecto a la cantidad empleada del aceite fritura de pollo, para cada ensayo realizado se tomaron 181 ml de los 5000 ml tratados (ver cuadro 4).

Catalizador	% de catalizador	Rendimiento
Básico KOH	1	85%
Básico KOH	4	63%
Ácido H ₂ SO ₄	1	98%
Ácido H ₂ SO ₄	4	74%

Cuadro 4. Rendimientos del biodiesel obtenido.

C. Caracterización fisicoquímica del biodiesel obtenido.

Análisis físico del biodiesel proveniente de la fritura de pollo: En siguiente cuadro muestra los resultados del análisis físico del biodiesel obtenido.

Caracterización	Resultados obtenidos				Parámetros establecidos
	BASICO		ÁCIDO		
	1% catalizador	4% catalizador	1% catalizador	4% catalizador	
Densidad experimental [g/cm ³]	0,88	0,85	0,86	0,84	0,86-0,91 g/cm ³ (NTC 336)
Índice de refracción (Nd)	1,448	1,449	1,440	1,445	1,460-1,500 Nd (NTC 289)
Humedad (mg/kg)	200	500	—	—	500 mg/kg máximo parámetro NTC 287

Cuadro 5. Caracterización física del biodiesel obtenido

Las densidades se realizaron bajo la norma NTC 336 se puede observar que los valores de la propiedad se encuentran en un rango de 0.88 g/cm³ con el 1% 0.85 g/cm³ con el 4%; la humedad realizada a los ensayos

con exceso de metanol: aceite se asimilan los resultados del biodiesel obtenido con las condiciones establecidas en el cuadro 5. Ahora bien, la densidad del combustible diésel es muy importante, ya que esta propiedad define la energía junto con la potencia por volumen del motor, por tal motivo el biodiésel obtenido podría generar una eficiencia considerable. Estos valores son similares a los obtenidos en la investigación de Richard Arley Alarcón Rodríguez el en su investigación obtuvieron rangos de 0.877 g/ml a 0.885 g/ml [9].

El índice de refracción (Nd) este parámetro no está incluido en la normatividad vigente que regula la calidad de este tipo de biocombustible. Sin embargo, se llevó a cabo con el fin de observar la diferencia entre la materia prima y biodiesel obtenido, en la caracterización de ambos se obtuvieron valores para el aceite de pollo 1.468 Nd y para el biodiesel obtenido 1.448-1.449 Nd y con el exceso el rango fue 1.442-1.449 Nd, esto demostró que la materia prima si está dentro de los parámetros establecidos por la NTC 289 y que el biodiesel obtenido está por debajo de lo establecido por la norma, autores que también han trabajado con aceite de fritura de pollo como Cristhian Alfredo Galeano León y sus colaboradores, obtuvieron en su investigación valores similares en el biodiesel obtenido así un índice de refracción de 1.451 Nd en conclusión la propagación de la luz en los autores es mayor que la de esta investigación [10].

La prueba de contenido de agua del biodiesel estuvo dentro del máximo permitido por los estándares de la NTC 5444 (Máximo 500 mg/kg) según lo dicho por el autor Edwin Alberto Bulla Pereira según los datos de las pruebas el biodiesel obtenido en su investigación estos resultados muestran que podría haber corrosión en los tanques de almacenamiento, así como la formación de emulsiones, procesos de oxidación hidrolítica e incluso una posible reducción en el tiempo de almacenamiento debido al crecimiento microbiano en los Etil ésteres de ácidos grasos (FAEE).

Análisis químico del biodiesel proveniente del aceite de la fritura de pollo: En el siguiente cuadro se muestran las caracterizaciones químicas del biodiesel obtenido con el catalizador básico. El biodiesel obtenido por medio de catalizador ácido, no se le realizaron estas pruebas debido al resultado del procedimiento de la humedad, es decir, se observó que durante el ensayo para obtener la humedad se evaporó completamente, por lo tanto, las muestras tenían una gran concentración de alcohol que

perjudicó la demás caracterización químicas.

Caracterización	Resultados obtenidos		Parámetros establecidos
	1% catalizador básico	4% catalizador básico	
Índice de acidez (mg KOH/g)	0,27	0,40	0,5 mg KOH/g máximo (NTC 218)
Índice de yodo (g de yodo/100 g)	79,78	80,94	120 g de yodo/100 g máximo (NTC 283)
Índice de peróxidos (meq de peróxido/kg)	28,20	43,40	máx. 5,0meq O ₂ /kg. (NTC 236)
FAMES	96,23	94,36	96,5 % en masa mínimo NTC 5444

Cuadro 6. Caracterización química del biodiesel obtenido.

Con base a los cuadros anteriores, se observa que el exceso de metanol: aceite no generó un cambio significativo en las caracterizaciones físicas comparados con el biodiesel 1% sin exceso. También se observa en el cuadro 6, que el índice de acidez aumenta a medida que aumenta la concentración del catalizador, también se muestra que el catalizador básico al 4%, dio el índice de acidez similar al aceite de fritura de pollo. En cambio, la investigación de Rosa María Camargo Mejía y sus colaboradores, reporta que el índice de acidez disminuyó a medida que aumentaron del porcentaje del catalizador básico. También, haciendo una comparación con los valores obtenidos por Edwin Alberto Bulla Pereira y de las especificaciones de las normas mostradas (EN 14214 IA = máximo 0,5 y ASTM-D 6751 IA = máximo 0,8), se puede observar que los índices de acidez obtenidos son similares a esta investigación [8].

Para esta investigación, los resultados del índice de yodo se obtuvieron valores similares, es decir, no hubo una diferencia entre los dos catalizadores. Este índice nos permite obtener el número de instauraciones de los AG en el aceite. Un aceite cuando se encuentra completamente saturado tendrá un índice de yodo=0 56. Los resultados de esta investigación están dentro de los parámetros de la norma NTC 5444 que dice que el máximo permitido de yodo es 120g.

El índice de peróxidos en biodiesel, según la tabla anterior, aumentó a medida que aumenta la concentración de catalizador básico. Pero según, la información que arroja los autores Cristhian Alfredo Galeano León y sus colaboradores, entre más bajo sea el índice de peróxidos, mayor será la estabilidad oxidativa del biodiesel obtenido, siempre y cuando se almacene en condiciones adecuadas (ambientes frescos, sin

exposición directa a la luz y al aire). Por lo tanto, el biodiesel con catalizador básico 1% presentan mayor estabilidad oxidativa comparado con el biodiesel del catalizador 4%.

III. CONCLUSIÓN

A. En la caracterización del aceite proveniente de la fritura de pollo empleado para esta investigación, cumple con los parámetros establecidos según la norma NTC 5444, para su posterior tratamiento, es decir, esta materia prima garantiza la reacción de transesterificación para producir biodiesel.

B. El presente estudio mostró, que bajo las condiciones establecidas para llevar acabó la producción de biodiesel con el catalizador básico (KOH) con la concentración 1% y 4% se obtuvieron rendimientos de producción 85% y 63% respectivamente. En cambio, cuando se empleó el catalizador ácido ocurrió el fenómeno de saponificación; aunque se realizaron ensayos adicionales a este catalizador aumentando la relación metanol: aceite no resultaron satisfactorios.

C. Con base a los resultados de las caracterizaciones físicas químicas y la cromatografía el mejor resultado para la producción de biodiesel fue el catalizador básico de 1%, en la cual se obtuvieron menos presencia monoglicérido, triglicéridos y diglicéridos, comparado con el ácido.

REFERENCIA

- [1] MONROY RODRÍGUEZ, Luís, et al. Obtención de biodiesel a partir de grasa residual de pollo. Revista Ciencias e Ingeniería al Día. 2012, nro.61. pp.2. ISSN1900-768X.
- [2] IEA. Nuevo informe de la IEA estima que el consumo de biocombustible se duplique en 2030. Blog. Disponible en línea: <https://h2businessnews.com/nuevo-informe-de-la-iea-estima-que-el-consumo-de-biocombustibles-se-duplique-en-2030/>
- [3] BULLA PEREIRA, Edwin Alberto. Diseño del proceso de producción del biodiesel a partir de aceites de fritura. Trabajo de grado Magister en Ingeniería – Ingeniería Mecánica. Bogotá D.C Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Departamento de Mecánica y Mecatrónica.2014. 1p.
- [5] Barros Piñero, Xián. Obtención de biodiesel a partir de aceite de cocina usado de la ENM. Trabajo de grado en Ingeniería Mecánica. Facultad de ingeniería. Departamento mecánico. 2014-2015.31 p.
- [6] GALEANO LEÓN, Cristhian Alfredo; GUAPACHA MARULANDA, Esteban. Aprovechamiento y caracterización de los residuos grasos del pollo para la producción de un biocombustible (biodiesel). Trabajo

- de grado químico Industrial. Universidad tecnológica de Pereira. Facultad de tecnologías. Escuela de tecnología química. 2011.p 67.
- [7] MONTENEGRO MIER, Manuel Antonio, et al. Producción y caracterización de biodiésel a partir de aceite de pollo. Trabajo de grado en Ingeniería Mecánica. Facultad de ingeniería. P 67.
- [8] LUIS MONROY RODRÍGUEZ, et al. Obtención de biodiesel a partir de diferentes tipos de grasa residual de origen animal. Revista Luna Azul. 2013, nro. 65. pp. 19. ISSN 0120-3916.
- [9] BULLA PEREIRA, Edwin Alberto. Diseño del proceso de producción del biodiesel a partir de aceites de fritura. Trabajo de grado Magister en Ingeniería – Ingeniería Mecánica. Bogotá D.C Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Departamento de Mecánica y Mecatrónica.2014. 55p.
- [10] ALARCÓN RODRÍGUEZ, Richard Arley, Obtención de biodiésel a partir de mezclas de aceite usado de cocina y aceite de palma. Trabajo de Grado Ingeniero Mecánico. Bogotá D.C Universidad Santo Tomás de Colombia. Facultad de ingeniería mecánica. División de ingenierías.2014.42p.
- [9] REYERO, Inés, et al. Kinetics of the NaOH-catalyzed transesterification of sunflower oil with Ethanol to produce biodiesel. Fuel Processing Technology 129 (2015) 147–155.



Luz Ángela Téllez Cobos, ingeniera química de la Universidad Industrial de Santander-UIS, especialista en Gestión Ambiental de la Fundación Área Andina y candidata a la Maestría en Prevención de Riesgo Laborales de la Universidad Europea del Atlántico. Docente investigadora del Instituto Universitario de la Paz. Su investigación más reciente, es enfocada al desarrollo de procesos biocombustible y bioplásticos.

Energía Fotovoltaica - Autogeneración de Energía Eléctrica para una Vivienda en Barrancabermeja

(Photovoltaic Energy - Self-generation of Electric Energy for a House in Barrancabermeja)

Orlando, Orjuela Omar¹
omar.orjuela@unipaz.edu.co

Instituto Universitario de la Paz, Escuela de Ingeniería de Producción, Grupo de Investigación en Reingeniería, Innovación y Productividad, GREIP(1)

Recibido: mayo 4 de 2023 – Aceptado

Resumen

Teniendo en cuenta los crecientes problemas ambientales que están sucediendo en todo el mundo, la necesidad de un eficiente manejo de la energía y el ahorro de la misma, son problemas que conciernen a todos los habitantes del planeta. Una de las soluciones que más se plantean a estos problemas es la instalación de paneles solares en las viviendas para autogenerar la energía necesaria para su funcionamiento. Se analizó la viabilidad económica de la implementación de un sistema de paneles solares en una vivienda unifamiliar en la ciudad de Barrancabermeja mediante un análisis de costos, comparando el sistema fotovoltaico con la red eléctrica existente, se determinó cual es el sistema más viable económicamente para reemplazar el sistema actual por uno fotovoltaico, concluyendo que para la zona urbana y rural donde existe red eléctrica, el sistema más conveniente es el sistema On Grid.

Palabras clave: Calentamiento global, Sistema fotovoltaico, panel solar, Fuente convencional de energía. Eficiencia energética, Generador de energía

Abstract

Considering the growing environmental problems that are occurring around the world, the need for efficient energy management and energy savings are problems that concern all the inhabitants of the planet. One of the most common solutions to these problems is the installation of solar panels in homes to self-generate the energy necessary for their operation. The economic feasibility of the implementation of a solar panel system in a single-family house in the city of Barrancabermeja was analyzed through a cost analysis, comparing the photovoltaic system with the existing electrical grid, it was determined which is the most economically viable system to replace the current system with a photovoltaic one, concluding that for the urban and rural area where there is an existing electrical grid, the most convenient system is the On Grid system.

Keywords: Global warming, Photovoltaic system, Solar panel, Conventional energy source. Energy efficiency, Power genera

I. INTRODUCCIÓN

Nuestro planeta está atravesando una crisis ambiental sin precedentes, los recursos naturales se agotan y la industria mundial genera más daños día a día y una de las principales causas de esto es nuestra dependencia de los Combustibles Fósiles para la industria, para la movilización, el transporte entre otras. El calentamiento global aumenta con el incremento de CO₂ en la atmosfera y este incremento en el CO₂ puede tener fuente en algunos procesos naturales, pero también se genera en gran parte debido a la intervención humana en procesos y actividades como lo son la tala de árboles y el uso de combustibles de origen fósil como el carbón o el petróleo. Como lo mencionan Caballero, Lozano y Ortega

Resulta algo difícil determinar qué porcentaje del calentamiento global es causado por fenómenos naturales y cuánto se debe a causas provocadas por el hombre. Sin embargo, los resultados de las simulaciones climáticas que tienen en cuenta todas las causas posibles sugieren que solo se debe considerar la contribución de la actividad humana, especialmente dadas las tendencias de calentamiento divergentes observadas en las últimas décadas [1].

¿Cambio climático? ¿Dónde?

Cambio en la temperatura media global anual con respecto al periodo 1850-1900

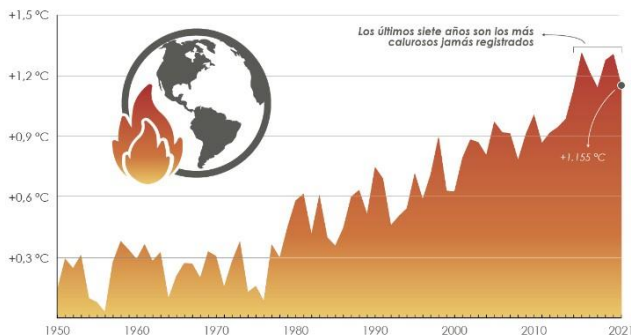


Fig. 1. Cambio en la temperatura media global anual con respecto al periodo 1850-1900. [2]

Una manera en la que se pueden apreciar fácilmente las consecuencias del calentamiento global es la rápida reducción en el volumen de hielo en los polos lo cual ha generado que el oso polar se encuentre cerca de la extinción [3]. Si bien el deshielo se presenta de forma natural, en la actualidad sucede cada vez con más velocidad, lo cual se convierte en un problema muy grave para todos los seres vivos que hacemos parte del planeta. Para este 2023 la temperatura promedio del planeta ya está 1 grado centígrado más alta que en el siglo pasado (Fig. 1.) y de seguir a este ritmo se perdería todo el hielo de los polos aproximadamente para el año 2060. Lo más grave de la situación es que a pesar de la evidencia científica y el peligro inminente en el que se encuentra la raza humana, aún existe una fuerte tendencia a

la negación del problema (principalmente por motivos económicos) y se hace caso omiso a todas las advertencias de la comunidad científica.

La obtención de energía a partir de fuentes alternativas limpias o fuentes renovables no convencionales se definió en la Ley 1715 de 2014 como "una fuente de energía renovable disponible a nivel mundial y ambientalmente sostenible, pero que no se usa internamente en nuestro país o se usa muy poco". comercialmente disponible. Se determinan como FNCER (Fuentes No Convencionales de Energía Renovable) aprovechamientos hidroeléctricos a pequeña escala, la energía eólica, la energía geotérmica, la energía solar y los mares, si bien las fuentes de energía no convencional no están totalmente libres de impactos ambientales, sí se presentan como una gran oportunidad para minimizar los impactos ambientales al planeta a la vez que prometen disminuir considerablemente los costos que el usuario final debe pagar en sus facturas de energía. La energía solar es una de las fuentes de energía no renovable más económica y es por eso que es la que mayor potencial de crecimiento presenta para los años venideros. Según la IEA (Asociación Internacional de Energía), solamente en 2021 se generaron más de 994TWh (Tera vatios-hora) en todo el mundo.

El presente artículo se centra en la energía solar fotovoltaica la cual es la fuente de energía alternativa más común, más comercializada y más utilizada en nuestro país. Los medios de comunicación y los principales proveedores de estos sistemas de energía resaltan su aporte a la conservación del planeta, disminuyendo la dependencia de las centrales hidroeléctricas, y prometen grandes ahorros en términos económicos al usuario final.

Uno de los principales factores que influyen en el costo de instalación de paneles solares en Colombia es el tamaño del sistema. Un sistema más grande puede generar más energía, pero también requiere una inversión inicial más grande. El costo de instalación de paneles solares también depende de la calidad de los paneles y otros componentes. Paneles solares de alta calidad son más caros, pero también pueden generar más energía y durar más tiempo. Otro factor que influye en el costo de instalación de paneles solares en Colombia es la ubicación geográfica. La región de la Costa Caribe es la que cuenta con las condiciones más favorables para la producción de energía solar en Colombia, debido a su ubicación geográfica y a su clima, por lo que en dicha región, el costo de instalación de paneles solares puede ser más bajo debido a la alta irradiación solar.

Se presenta un análisis detallado de los costos totales para la instalación y funcionamiento de un sistema de paneles solares para una vivienda unifamiliar en el municipio de Barrancabermeja departamento de Santander, tanto en el sistema Off-Grid como en el sistema On-Grid, teniendo en cuenta los costos de equipos, insumos, instalación, puesta en marcha, mantenimientos y vida útil del sistema. Se concluye que, si bien estas alternativas son económicamente viables, el

ahorro económico en ambos casos es muy distinto y la decisión al escoger el sistema dependerá prácticamente en su totalidad de la existencia y facilidad a la conexión a la red pública.

Por otro lado, se encuentra que los beneficios ambientales obtenidos con el uso de estos sistemas son considerables ya que esta es una fuente de energía limpia y renovable, no pone en peligro ni contribuye al calentamiento global, está exenta de gases generadores de efecto invernadero, la energía que se puede obtener es ilimitada, favorece al desarrollo sostenible, reduce el consumo de combustibles de tipo fósil y muchas otras ventajas.

II. NORMATIVIDAD

La reciente pandemia debida al coronavirus evidenció la vulnerabilidad de las sociedades y economías frente a las crisis globales, y ante una inminente crisis climática, es necesario iniciar cambios urgentes en pos de mejorar la situación climática y energética en el planeta.

Como lo menciona la Agencia Internacional de Energías Renovables, Las fuentes de energía renovables no convencionales como la solar y la eólica deben ser una prioridad para el sector energético en los próximos años, según cálculos aproximadamente hasta el 2030. Todo esto con el fin de lograr que el calentamiento global llegue a un máximo de 1,5 °C, como se instituyó en el Acuerdo de París llevado a cabo en 2015. Una buena gestión ambiental en las empresas, industrias y aún en nuestros hogares, juega un papel fundamental para la conservación y para la recuperación del planeta

El gobierno colombiano ha implementado varias políticas fiscales y financieras para promover la energía solar en el país. Uno de los incentivos fiscales más importantes es la exención de impuestos sobre las importaciones de equipos y materiales necesarios para la producción de energía solar. Esto reduce los costos de los equipos y hace que la energía solar sea más asequible para las empresas y hogares.

Además, el gobierno ha establecido un programa de créditos verdes para financiar la instalación de paneles solares en hogares y empresas. Este programa ofrece préstamos con tasas de interés preferenciales y plazos de pago flexibles para facilitar el acceso a la tecnología solar. También se han establecido fondos de inversión para apoyar proyectos de energía solar a gran escala en el país.

El gobierno colombiano también ha establecido regulaciones para la instalación de paneles solares en el país. Estas regulaciones incluyen la aprobación de planos y la inspección técnica de los sistemas de energía solar para garantizar que cumplan con los estándares de seguridad y calidad. También se han establecido normas para la conexión de sistemas de energía solar a la red eléctrica, lo que garantiza la seguridad y confiabilidad del suministro de energía. Además, el Ministerio de Minas y Energía ha establecido un marco regulatorio para la generación de energía renovable en Colombia. Este marco establece metas específicas de

energía renovable para el país y establece requisitos técnicos y de seguridad para los proyectos de energía renovable, incluyendo la energía solar.

En Colombia, la CREG (Comisión de Regulación de Energía y Gas), es la entidad delegada para dictar las regulaciones los servicios públicos de energía eléctrica, gas y combustibles líquidos en Colombia. La CREG ha establecido regulaciones para fomentar el uso de la energía solar en Colombia. Una de las regulaciones más importantes es la Resolución CREG 030 de 2018, que establece los requisitos técnicos y de seguridad para la conexión de sistemas de generación distribuida de energía solar a la red eléctrica. En la anterior resolución también se ha establecido una tarifa regulada para la energía solar. Esta tarifa garantiza a los productores de energía solar un precio mínimo por cada kilovatio hora de electricidad generada, lo que les permite recuperar sus costos de inversión y obtener ganancias.

La CREG también ha promovido la implementación de proyectos de energía solar a gran escala en Colombia.

En la Ley 1715 de 2014 [3] se instaura un marco legal e instrumentos que fomentan y/o promueven el uso de energías obtenidas de manera no tradicionales, específicamente las renovables, y se busca promover la inversión, la investigación y satisfacer a nivel nacional la demanda presentada. También tiene como objetivo desarrollar protocolos para implementar los compromisos de Colombia con las energías renovables, su eficiente utilización y la reducción de cualquier agente contaminante como los gases invernadero.

En el artículo 5 de dicha ley, se define como autogeneración, las actividades realizadas por toda persona natural o jurídica que produzca energía eléctrica para satisfacer sus propias necesidades, y en caso de generar más de lo consumido, será la CREG quien determine si puede entregar este excedente a la red pública y como debe hacerlo.

Según el DECRETO 2469 DE 2014, son considerados productores a gran escala aquellas personas naturales o jurídicas que generen más de 1MW y son considerados productores a pequeña escala los que generen 1MW o menos.

III. PANELES SOLARES EN COLOMBIA

Los paneles solares son una alternativa limpia y sostenible para la obtención de energía eléctrica en Colombia. La energía solar es una fuente renovable de energía carente de emisiones de gases causantes de efecto invernadero y que no contamina el medio ambiente. En los últimos años, la instalación de paneles solares ha ganado popularidad en el país debido a la reducción sustancial de los costos de producción y la creciente conciencia ambiental. En Colombia, la energía solar se ha venido convirtiendo en una de las fuentes de energía más prometedoras para el futuro. El país percibe un gran potencial para la producción de energía solar, gracias a su ubicación geográfica privilegiada. La energía solar es una fuente de energía constante y confiable, especialmente en regiones con

altos niveles de irradiación solar, como la región de la Costa Caribe, la Orinoquia y la región Andina.

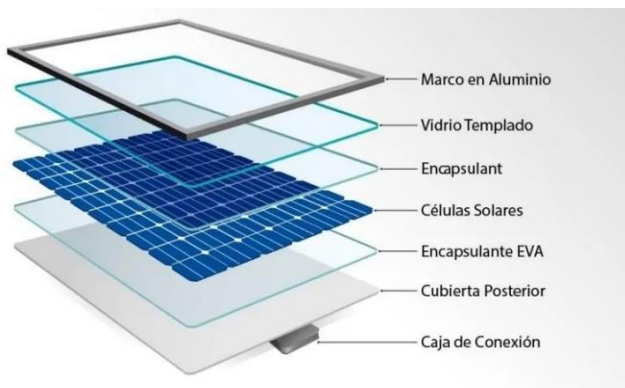
La instalación de paneles solares en Colombia ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos años.

En Colombia, existen actualmente 38 parques solares que generan energía a partir de la radiación solar. Algunos de los parques solares más importantes en el país son:

Ecoparque Solar Brisas: ubicado en el municipio de Aipe(Huila), construido por la empresa AES Colombia, que tiene una capacidad instalada de 26 MW [3]

Parque Solar Andrómeda: localizado en el municipio de Tolúviejo en Sucre, con una capacidad de producción de 100MW. [4]

Parque Solar Bolívar: ubicado en el departamento de



Cesar, es uno de los parques solares más grandes de América Latina, con una capacidad instalada de 250 MW. [5]

Parque Solar Guajira I: ubicado en el departamento de LaGuajira, este parque solar tiene una capacidad instalada de 50MW y fue construido por la empresa italiana Enel Green Power. [6]

Parque Solar El Paso: se encuentra ubicado en el departamento de Cesar, este parque solar tiene una capacidad instalada de 86 MW y fue construido por la empresa española Solarpack. [7]

Parque Solar Celsia Solar Yumbo: ubicado en el departamento del Valle del Cauca, este parque solar tiene una capacidad instalada de 9,8 MW y fue construido por la empresa colombiana Celsia. [5]

Parque Solar Guayepo III: ubicado en los municipios de Sabanalarga y Ponedero de Atlántico, este parque solar tiene una capacidad instalada de 200 MW y fue construido por la empresa española Técnicas Reunidas. [4]

Estos son solo algunos de los parques solares en Colombia, pero existen otros proyectos en construcción y en planificación que aumentarán la capacidad instalada de energía solar en el país

Uno de los mayores beneficios de los paneles solares es que pueden generar energía en lugares remotos o aislados, donde no hay acceso a la red eléctrica convencional. Esto es especialmente útil en regiones rurales de Colombia, donde la electrificación es limitada o inexistente. Los paneles solares también pueden ser utilizados para suministrar energía en emergencias o situaciones de desastre, lo que los hace una alternativa importante y segura en estos casos.

IV. SISTEMA FOTOVOLTAICO

El Sistema fotovoltaico consta o está compuesto por un conjunto de dispositivos eléctricos, electrónicos y mecánicos capaces de transformar la radiación que capta del sol en energía eléctrica. El sistema se compone principalmente por paneles solares, inversor, conectores, cableado, tableros, breakers entre otros y dependiendo del tipo de conexión elegido, se determinan los demás componentes del sistema.

Paneles solares: Los paneles solares son los componentes más importantes del sistema fotovoltaico, ya que son los encargados de tomar la energía solar y transformarla en electricidad. Los paneles solares son dispositivos hechos de metales fotosensibles que emiten electrones cuando son excitados por la luz. Este desprendimiento de electrones es lo que genera la energía eléctrica. Los paneles están principalmente contruidos en celdas elaboradas de silicio puro con alguna cantidad de impurezas de algunos otros elementos. Las principales partes que componen un panel se muestran en la figura 2.

Fig. 2. Componentes De Un Panel Solar [8]

La capacidad de generación de un panel está determinada por la calidad de sus materiales y su fabricación, así mismo a mayor número de paneles solares mayor será la cantidad de energía conseguida. Los paneles pueden conectarse en serie o en paralelo dependiendo de nuestros requerimientos, así, si requerimos un mayor voltaje a los ofrecidos por los paneles los conectaremos en serie y si lo que queremos es un amperaje más alto y conseguir así una mayor potencia, los podemos conectar en paralelo.

Inversor: los paneles solares generan una corriente eléctrica denominada es corriente continua (CC), en la cual las cargas eléctricas se desplazan siempre en el mismo sentido y este tipo de corriente no es utilizable por la mayoría de los dispositivos eléctricos. Por lo tanto, se necesita de un inversor para transformar esta corriente continua en corriente alterna (CA), que es la que llega comúnmente a nuestros hogares y la que utilizan los dispositivos eléctricos usados en estos.

Baterías: Las baterías son utilizadas para almacenar la energía obtenida por los paneles solares. Estas baterías pueden utilizarse para proporcionar energía durante la noche o en días nublados cuando no hay suficiente luz solar para generar

electricidad. Las baterías también pueden utilizarse como sistema de respaldo o plan B en caso de un apagón.

Sistema de montaje: Los paneles solares necesitan ser montados en algún lugar, y esto se logra mediante un sistema de montaje. Hay varios tipos de sistemas de montaje disponibles, incluyendo montajes en tierra, montajes en techos y montajes en pared.

Cableado y conectores: los cables y conectores son componentes importantes del sistema que conectan los paneles solares al inversor y al medidor bidireccional. Los cables y conectores deben ser de alta calidad y estar diseñados para soportar las condiciones climáticas extremas y la exposición a la luz solar directa.

Medidor bidireccional: Este contador de energía mide la cantidad de energía captada por los paneles solares que no utilizamos en nuestro hogar, la cual es enviada a la red pública y a la vez mide la energía que se tomamos de la red eléctrica pública cuando la generada por los paneles es insuficiente para satisfacer las necesidades del hogar. Esto permite a los propietarios de sistemas de generación de energía con paneles solares recibir créditos por la energía que generan y devuelven a la red eléctrica.

Para la implementación de un sistema fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en una vivienda unifamiliar en Barrancabermeja, tenemos las opciones que nuestro sistema se encuentre conectado On-Grid o que se encuentre Off-Grid.

Sistema Off Grid (también conocido como Standalone System) es un tipo de sistema de energía solar que no está conectado a la red eléctrica nacional o local. Este tipo de sistema utiliza paneles solares para generar electricidad a partir de la energía del sol y la almacena en baterías para su uso posterior. El sistema Off-Grid (Figura 3) nos indica que nuestro sistema es autónomo de la red y por lo tanto requeriremos de equipos adicionales como algunas baterías necesarias para la acumulación de la energía.

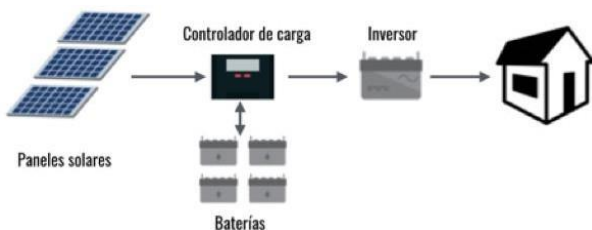


Fig. 3. Sistema solar fotovoltaico Off-Grid [9]

El sistema Off Grid se compone principalmente de paneles solares, un sistema de almacenamiento de energía por medio de baterías, un controlador de carga y un dispositivo inversor de corriente. Los paneles solares convierten la energía solar en electricidad de corriente continua (DC), y el controlador descarga regula la cantidad de energía que se almacena en las baterías. El inversor convierte la corriente continua en corriente alterna (AC) para que pueda ser utilizada por los

hogares y empresas.

La principal ventaja de un sistema Off Grid es que proporciona energía de respaldo en caso de un apagón o cuando no hay acceso a la red eléctrica. Además, los propietarios pueden utilizar este sistema en áreas remotas o rurales donde no hay acceso a la red eléctrica. También es una buena opción para los propietarios que desean ser completamente autosuficientes en términos de energía, ya que no dependen de la red eléctrica nacional o local.

Sin embargo, una desventaja potencial de un sistema Off Grides que es más complejo y costoso que un sistema On Grid. Las baterías de almacenamiento son un componente clave del sistema Off Grid y pueden ser caras. Además, los propietarios deben asegurarse de que el sistema esté dimensionado correctamente para sus necesidades energéticas y considerar el mantenimiento y la vida útil de las baterías.

En resumen, un sistema Off Grid es un tipo de sistema de energía solar que no está conectado a la red eléctrica nacional o local. Es una opción popular para los propietarios que desean energía de respaldo en caso de un apagón o que viven en áreas remotas o rurales donde no hay acceso a la red eléctrica. Sin embargo, es importante tener en cuenta que un sistema Off Grid es más complejo y costoso que un sistema On Grid y requiere un mantenimiento y cuidado de las baterías de almacenamiento.

Sistema On-Grid:

El sistema On Grid (también conocido como Grid Tie System) nos indica que este el sistema se encuentra conectado a la red pública que suministra la energía al municipio y por lo tanto requeriremos de un medidor bidireccional el cual nos servirá para determinar cuanta energía consumimos de la red y cuanta entregamos a la misma y por consiguiente no necesitaremos de baterías ni de ningún dispositivo o sistema para el almacenamiento de la energía. desventaja potencial de un sistema On Grid es que, si hay una interrupción en la red eléctrica, el sistema solar también se apagará. Esto se debe a que los sistemas On Grid están diseñados para no alimentar electricidad a la red eléctrica durante un corte de energía, para proteger a los trabajadores de la electricidad que trabajan para reparar la red. Por lo tanto, es importante tener en cuenta que un sistema On Grid no proporcionará electricidad de respaldo en caso de un apagón.

V. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA

A continuación, se presentan los diferentes equipos y accesorios correspondientes a los diferentes sistemas, así como sus especificaciones utilizadas para el análisis de costos presentado en este documento:

a. Costos Sistema Off-Grid: Kit Solar Litio 300 Kwh/mes

Los costos para el sistema fotovoltaico para una vivienda en Barrancabermeja, se calculó para que este sea capaz de generar en promedio 300 kWh/mes, teniendo en cuenta todos

los factores ambientales y externos como lo son las horas de sol y de sombra, las estaciones, la ubicación y localización, temperatura, etc.

Los costos de los componentes del sistema de 300 kWh/mes se calcularon promediando los costos ofertados por tres proveedores diferentes. En la Tabla 1 se presentan dichos

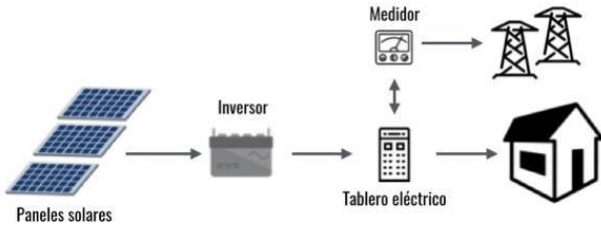


Fig. 4. Sistema solar fotovoltaico On-Grid [9]

La principal ventaja de un sistema On Grid es que no requiere baterías de almacenamiento, ya que la electricidad generada por el sistema solar se vierte directamente en la red eléctrica. Esto significa que el sistema es más simple y económico que otros sistemas de energía solar, y que los propietarios pueden reducir significativamente sus facturas de energía al generar su propia electricidad.

En algunos países o regiones, incluyendo a Colombia, los propietarios de sistemas On Grid pueden recibir créditos por la electricidad que producen y vierten en la red eléctrica, lo que puede generar ingresos adicionales. Sin embargo, una

costos.

TABLA 1
COSTOS PROMEDIO PROVEEDORES DE SISTEMA FOTVOLTAICO

Descripción	Cantidad	Precio	
		Unitario	Total
Kit Solar 300Kwh/mes con Batería de Litio			
Panel Solar 50W	6	\$ 3.500.000	\$ 21.000.000
Batería Litio Pylontech US2000 Plus 48V 2.4kWh	6	\$ 5.710.628	\$ 34.263.768
Repartidor-Bornera LEGRAND Bipolar 40A	1	\$ 118.781	\$ 118.781
CAJA ESTANCA 150X110X70 PVC LMG	1	\$ 30.190	\$ 30.190
Conectores RETIE MC4	5	\$ 13.320	\$ 66.598
DC			

Fusible 63A Mersen 22x58 690VAC	1	\$ 45.770	\$ 45.770
Portafusible 125A EBCHQ 22x58 690VAC	1	\$ 60.921	\$ 60.921
Borne de Conexión Carril Din Tierra	1	\$ 8.750,07	\$ 8.750,07
Borne de Conexión Carril Din Gris	1	\$ 8.500,17	\$ 8.500,17
Tablero Sobreponer 6 Polos	2	\$ 56.037,10	\$ 112.074,20
AC			
VIGILANTE DE TENSIÓN 110V 30A 1HP MONOFÁSICO	1	\$ 124.694,15	\$ 124.694,15
ESTRUCTURA TECHO METÁLICO			
Base instalación inversor	1	\$ 351.174,95	\$ 351.174,95
Montaje de Base de Inversor	1	\$ 101.999,66	\$ 101.999,66
Canaleta Ranurada Gris 40X60 Dexon x1m	1	\$ 25.500,51	\$ 25.500,51
TOTAL			\$ 56.318.724

El costo de la mano de obra, el Inversor, el cableado, y demás componentes no incluidos en la tabla 1, están incluidos en el costo de los paneles solares. A los costos anteriores se debe adicionar algunos costos extra (ver Tabla 2) como lo son las baterías de recambio (12 en total) y los costos de mantenimiento presentados.

TABLA 2
COSTOS ADICIONALES SISTEMA OFF-GRID

Descripción	Valor Total
Baterías Recambio	\$ 68.527.536,00
Mantenimiento	\$ 5.000.000,00
TOTAL	\$ 86.527.536,00

Las baterías de litio tienen una vida útil de 10 años por lo que durante la vida útil de los paneles solares que es de 25 años, hay que cambiarlas 2 veces lo que representa un costo de \$68.527.536,00 correspondientes a 2 cambios de 6 baterías cada uno. Los costos de instalación y transporte

ya están incluidos en los costos de los materiales. Los costos de mantenimiento son muy relativos, ya que no se puede determinar con certeza que componentes pueden fallar por lo que se tomó un estimado de \$5.000.000 que se considera bajo para los 25 años de vida útil del sistema.

Con los datos anteriores se calcula el costo total del sistema durante los 25 años de vida útil, lo que da un valor de:

$$\text{Costo total} = \$56.318.724 + \$68.527.536 + \$5.000.000$$

$$\text{Costo total} = \$129.846.260$$

A continuación, en la Tabla 3, se presenta el costo total por mes y por Kw/h (kilovatio-hora) que se obtienen con la instalación del sistema

TABLA 3

COSTO TOTAL Y COSTO MENSUAL DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO OFF-GRID

Costo total sistema (\$)	Costo x mes (\$) 300 Kwh/mes
\$129.846.260	\$432.820

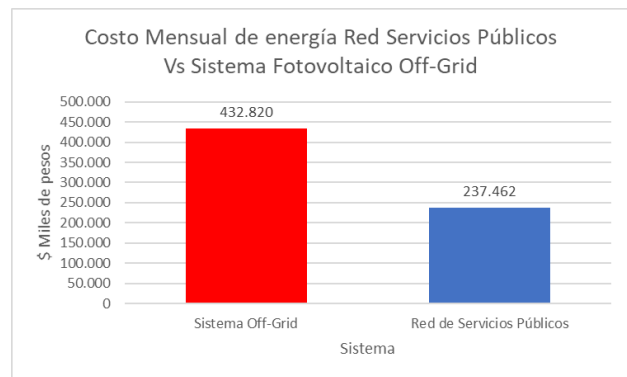


Fig. 5. Costo Mensual de energía Red Servicios Públicos Vs Sistema Fotovoltaico Off-Grid

Se puede observar en la Figura 5 que el costo mensual de la energía instalando un sistema Off-grid es mucho más alto que lo que se paga a la red de servicios públicos.

b. Costos Sistema On-Grid

Para el sistema On-Grid se utilizan los mismos materiales que para el sistema Off-Grid exceptuando las baterías y agregando el costo de un medidor bidireccional que tiene un costo aproximado de \$950.000 incluida la instalación. Esto significa que el costo total del sistema sería de:

$$\text{Costo total} = \$56.318.724 - \$34.263.768 + \$5.000.000,00 + \$950.000$$

$$\text{Costo total} = \$28.004.956$$

En la tabla 4 se muestra el costo total y el costo mensual de un sistema On-Grid con capacidad para 300Kwh/mes.

TABLA 4
COSTO TOTAL Y COSTO MENSUAL DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO ON-GRID

Costo Total Sistema (\$)	Costo X Mes (\$) 300 Kwh/Mes
\$28.004.956	\$90.183.19

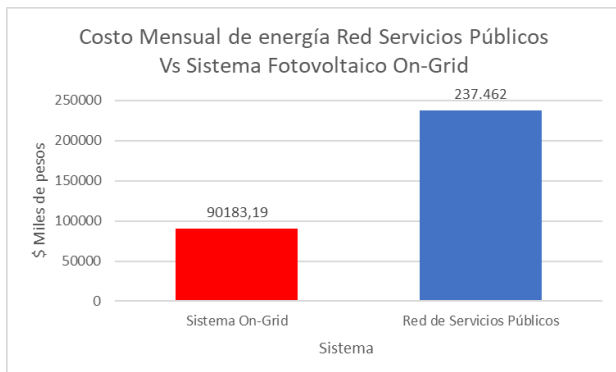


Fig. 6. Costo Mensual de energía Red Servicios Públicos Vs Sistema Fotovoltaico On-Grid

En la Figura 6 que el costo mensual de la energía instalando un sistema On-grid es mucho más bajo que lo que se paga a la red de servicios públicos, por lo que el sistema es económicamente muy conveniente.

VI. RESULTADOS

El costo mensual por 300 Kwh/mes cobrado por la ESSA en comparación al costo de esta misma energía con el sistema fotovoltaico **Off-Grid** y el sistema On-Grid lo podemos ver en la figura 7.

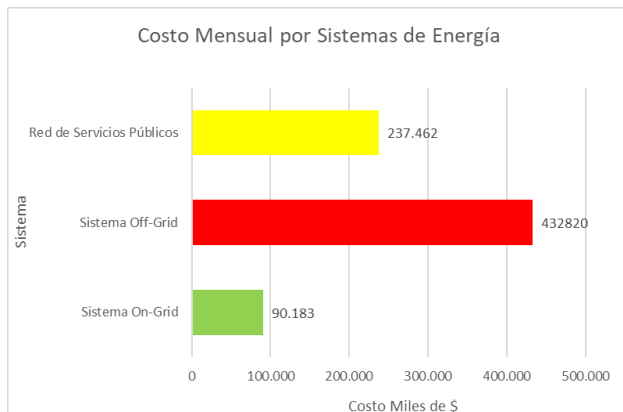


Fig. 7. Costo Mensual por sistemas de energía

Se puede ver claramente que un sistema Off-Grid, no es

sumada a los costos de recambios y mantenimientos suponen un sobre costo considerable en comparación con los costos que se pagarían por la misma cantidad de energía si esta fuera suministrada por el sistema público (aproximadamente del 82% de sobre costo).

Podemos afirmar que si bien el sistema Off-Grid, es más costoso que la energía suministrada por la red pública sigue siendo una alternativa para aquellos lugares alejados en donde no se cuenta con red pública que suministre el servicio.

Por otro lado, tenemos el sistema **On-Grid**, en el cual el costo de esta misma energía (300Kwh/mes) sería

aproximadamente de \$90.183.19, lo que daría un ahorro aproximado de \$147.279 mensuales.

Se puede concluir que la instalación de un sistema On-Grid es el más conveniente económicamente para ser instalado ya que representa un ahorro considerable en la factura de energía (aproximadamente un 62% de ahorro)

VII. CONCLUSIONES

económicamente viable ya que el costo de la inversión inicial Los paneles solares son una alternativa prometedora y sostenible y que se debe tener en cuenta para la producción de energía eléctrica en Colombia, siendo el sistema On-grid, el sistema más conveniente económicamente hablando para instalar en una vivienda urbana en la ciudad de Barrancabermeja.

Debido a sus altos costos, la instalación de un sistema Off-grid no es una opción viable para el entorno urbano, pero si lo sigue siendo para lugares aislados que no cuenten con una red de servicios públicos. La energía solar es una fuente de energía limpia y renovable que puede ayudar a reducir los costos de energía y disminuir el impacto ambiental.

Con los grandes avances en la tecnología, es probable que la instalación de paneles solares se vuelva cada vez más común en Colombia debido a la disminución de los costos de los materiales y de fabricación.

VIII. REFERENCIAS

- [1] M. Caballero, S. Lozano y B. Ortega, «Efecto Invernadero, Calentamiento Global Y Cambio Climático: Una Perspectiva Desde Las Ciencias De La Tierra,» *Revista Digital Universitaria*, p. 6, 2007.
- [2] Á. Merino, «EOM,» 18 01 2022. [En línea]. Available: <https://elordenmundial.com/mapas-y-graficos/evolucion-temperatura-global/>. [Último acceso: 10 02 2023].
- [3] Worldwildlife, «<https://www.worldwildlife.org/>,» 03 04 2019. [En línea]. Available: <https://www.worldwildlife.org/descubre->

wwf/historias/por-que-se-estan-derritiendo-los-glaciares-y-el-hielo-marino. [Último acceso: 2023].

- [4] E. C. D. COLOMBIA, *LEY 1715 DE 2014*, 2014.
- [5] MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA, «MINENERGIA,» 27 01 2023. [En línea]. Available: <https://www.minenergia.gov.co/es/sala-de-prensa/noticias-index/moderno-parque-solar-generar%C3%A1-autoabastecimiento-para-ecopetrol-en-huila/>.
- [6] ANLA, «ANLA,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.anla.gov.co/noticias-anla/colombia-hoy-cuenta-con-cuatro-nuevos-proyectos-de-energias-renovables>.
- [7] CELSIA, «CELSIA,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.celsia.com/es/noticias/empezo-a-generar-energia-celsia-solar-yumbo-primera-granja-fotovoltaica-de-colombia/>.
- [8] PORTAFOLIO, «PORTAFOLIO,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.portafolio.co/economia/infraestructura/gu-ajira-1-empieza-a-funcionar-este-nuevo-parque-eolico-560814>.
- [9] A. Urrego, «LA REPUBLICA,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.larepublica.co/economia/dos-nuevos-parques-solares-con-30-megavatios-operaran-en-sucre-a-partir-de-2023-3293950>.
- [10] INELDEC, «INELDEC,» [En línea]. Available: <https://ineldec.com/de-que-estan-hechos-los-paneles-solares-fotovoltaicos/>. [Último acceso: 15 02 2023].
- [11] SUN-SUPPLY, «SUN SUPPLY,» 2 7 2021. [En línea]. Available: <https://www.sunsupplyco.com/diferentes-tipos-de-sistemas-solares-fotovoltaicos/>. [Último acceso: 06 02 2023].

IX. BIOGRAFÍA



Omar Orlando Orjuela, Nacido en Ibagué, 12 de Julio de 1978. Ingeniero Civil graduado de la Universidad Santo Tomas de Aquino en la ciudad de Bogotá

D.C. Especialista en Gerencia e Interventoría de Obras Civiles, Actualmente desempeña el cargo de Docente en el Instituto Universitario de la Paz en Barrancabermeja, Santander. Con

16 años de experiencia profesional como ingeniero civil en cargos de director de Obra, Residente de Interventoría. Residente de obra, cuenta con experiencia de 5 años como docente en programas de Obra Civil e Ingeniera de Producción.

Producción sostenible desde la mirada de la economía sostenible, la producción limpia y la logística inversa

Sustainable production from the perspective of sustainable economy, clean production and reverse logistics

Duarte, Gómez Sandra Milena¹
sandra.duarte@unipaz.edu.co

Instituto Universitario de la Paz, Escuela de Ingeniería de Producción, Grupo de Investigación en Reingeniería, Innovación y Productividad, GREIP (1)

Recibido: mayo 05 de 2023 – Aceptado: junio 14 de 2023

Resumen

La producción sostenible es un modelo de producción de bienes y servicios que minimiza el uso de los recursos naturales, la generación de materiales tóxicos, residuos y emisiones contaminantes. Este modelo se orienta a reducir los riesgos para la salud, los impactos al ambiente, disminuir el uso de los recursos y aumentar la competitividad empresarial.

En este contexto la producción sostenible se vale del uso de herramientas, tales como economía circular y producción limpia, para minimizar las posibles problemáticas que se puedan presentar en diferentes circunstancias que afecten el medio ambiente, el progreso económico y social; de tal forma que se conviertan en posibles soluciones.

El objetivo es Proporcionar información sobre la producción sostenible desde la mirada de la economía circular y la producción limpia, mediante la revisión crítica de bibliografía y resultados de datos de investigaciones realizadas.

Este artículo es de tipo revisión del tema y de reflexión con diseño de investigación cualitativo descriptivo, el método empleado en la investigación fue la búsqueda bibliográfica, criterios de selección: artículos científicos de revistas confiables y estudios e investigaciones de entidades y organizaciones reconocidas, recuperación de la información (fuentes documentales), evaluación de la calidad de los artículos y demás documentos seleccionados y la selección definitiva. Se puede concluir que la producción sostenible como modelo aplicable al interior de cualquier organización conlleva a beneficios tanto ambientales, como sociales y de desarrollo económico.

Palabras clave: Producción sostenible, desarrollo sostenible, economía circular, producción limpia y logística inversa.

Abstract

Sustainable production is a model of production of goods and services that minimizes the use of natural resources, the generation of toxic materials, waste and polluting emissions. This model is aimed at reducing health risks, environmental impacts, reducing the use of resources and increasing business competitiveness.

In this context, sustainable production makes use of tools, such as circular economy and clean production, to minimize possible problems that may arise in different circumstances that affect the environment, economic and social progress; in such a way that they become possible solutions.

The objective is to provide information on sustainable production from the point of view of the circular economy and clean production, through a critical review of the bibliography and results of research data.

This article is of a review of the subject and reflection type with a descriptive qualitative research design, the method used in the research was the bibliographic search, selection criteria: scientific articles from reliable journals and studies and research from recognized entities and organizations, recovery of the information (documentary sources), evaluation of the quality of the articles and other selected documents and the final selection. It can be concluded that sustainable production as a model applicable within any organization leads to environmental, social and economic development benefits.

Keywords: Sustainable production, sustainable development, circular economy, clean production and reverse logistics.

1. INTRODUCCIÓN

La producción sostenible es un modelo de producción de bienes y servicios que minimiza el uso de los recursos naturales, la generación de materiales tóxicos, residuos y emisiones contaminantes. Este modelo se orienta a reducir los riesgos para la salud, los impactos al ambiente, disminuir el uso de los recursos y aumentar la competitividad empresarial.

En este contexto la producción sostenible se vale del uso de herramientas, tales como economía circular y producción limpia, para minimizar las posibles problemáticas que se puedan presentar en diferentes circunstancias que afecten el medio ambiente, el progreso económico y social.

Este artículo aborda la economía circular como apoyo en los para el cambio al paradigma “reducir, reutilizar y reciclar” por una transformación más profunda y duradera, que permita disminuir el impacto causado por las actividades humanas; de igual manera se aborda logística inversa para gestión del flujo de productos destinados al reprocesamiento, reciclado, reutilización o destrucción, incluyendo actividades de recogida, acondicionamiento y desensamblado y también la producción limpia como la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva integrada a los procesos, productos y servicios para aumentar la eficiencia global y reducir los riesgos para los seres humanos y el medio ambiente.

2. METODOLOGÍA

Este artículo es de tipo revisión del tema y de reflexión con diseño de investigación cualitativo descriptivo, el cual proporciona al lector una puesta al día sobre el tema que se aborda y es útil en la enseñanza, y de interés para personas de campos conexos.

El método empleado en la investigación fue:

1. Búsqueda bibliográfica

2. Criterios de selección: artículos científicos de revistas confiables y estudios e investigaciones de entidades y organizaciones reconocidas.

3. Recuperación de la información (fuentes documentales)

4. Evaluación de la calidad de los artículos y demás documentos seleccionados

5. Selección definitiva

La metodología aplicada fue:

1. Definir los objetivos de la revisión.

2. Búsqueda bibliográfica: se seleccionó como base de datos para la búsqueda Google académico, seguido se eligió los descriptores o palabras clave, se utilizó frases además de las palabras únicas y se comenzó la búsqueda. Cuando se identificó los estudios relevantes, se realizó la revisión para encontrar otros términos a usar como palabras claves.

3. Selección y evaluación de la información: la información revisada se encuentra determinada por los objetivos, y también los aspectos en donde se contempló los criterios de calidad científica buscada tales como: el título y las palabras claves. Así como también que los artículos científicos revisados consultados fueran confiables y estudios e investigaciones de entidades y organizaciones reconocidas.

Los artículos científicos fueron evaluados en tres aspectos: ¿Podemos confiar en los resultados? Dicho de otra forma: ¿Son válidos? ¿Cuáles son los resultados? ¿Son pertinentes o aplicables estos resultados en nuestro medio?

4. Organización de la información y redacción del artículo: la organización de la información se realizó basada en la plantilla de la Revista Riding y su redacción se realizó buscando claridad, concisión, precisión: tratando de usar palabras que comunicaran exactamente lo que se quería expresar y con sencillez y naturalidad para las respectivas reflexiones abordadas.

Este modelo se orienta a reducir los riesgos para la salud, los impactos al ambiente, disminuir el uso de los recursos y aumentar la competitividad empresarial. La ONU define el consumo y la producción sostenibles como “hacer más y mejor con menos”. [1]. Teniendo en cuenta el concepto de producción sostenible, se puede decir que forma parte de una corriente más amplia que es el desarrollo sostenible, concepto que aparece por primera vez en 1987 con la publicación del Informe Brundtland, que alertaba de las consecuencias medioambientales negativas del desarrollo económico y la globalización y trataba de buscar posibles soluciones a los problemas derivados de la industrialización y el crecimiento de la población. Se define «el desarrollo sostenible como la satisfacción de «las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades». (Informe titulado «Nuestro futuro común» de 1987, Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo), el desarrollo sostenible ha emergido como el principio rector para el desarrollo mundial a largo plazo. Consta de tres pilares, el desarrollo sostenible trata de lograr, de manera equilibrada, el desarrollo económico, el desarrollo social y la protección del medio ambiente. [2]

Algunos ejemplos muy comunes dentro de nuestra sociedad que proporcionan soluciones para crecer más con menos, teniendo en cuenta el concepto dado por la ONU a producción sostenible y que intentan cubrir algunas necesidades que garanticen la supervivencia de los productores, los consumidores y el medio ambiente se nutre de la innovación, el trabajo, la inteligencia y la experiencia puestos al servicio de encontrar el camino hacia un mundo mejor son:

* Generación y utilización de energías renovables, como la solar o la eólica.

* Producción de basura biodegradable, que puede ser reciclada y utilizada como abono para las plantas.

* Reciclaje de basura inorgánica, como el plástico o el metal.

* Agricultura ecológica, que respeta el equilibrio natural y evita el uso de pesticidas y fertilizantes químicos.

* Reutilización del agua de lluvia, que puede ser aprovechada para riego o consumo humano.

* Empleo de vehículos eléctricos, que reducen las emisiones de gases de efecto invernadero.

* Ecoturismo, que promueve el respeto y la conservación de la biodiversidad y las culturas locales.

3. PROBLEMÁTICA EN TORNO A LA PRODUCCIÓN SOSTENIBLE

El consumo y la producción mundiales (fuerzas impulsoras de la economía mundial) dependen del uso del medio ambiente natural y de los recursos de una manera que continúa teniendo efectos destructivos sobre el planeta.

El progreso económico y social conseguido durante el último siglo ha estado acompañado de una degradación medioambiental que está poniendo en peligro los mismos sistemas de los que depende nuestro desarrollo futuro (y ciertamente, nuestra supervivencia).

Estos son algunos hechos y cifras:

Cada año, se estima que un tercio de toda la comida producida (el equivalente a 1300 millones de toneladas con un valor cercano al billón de dólares) acaba pudriéndose en los cubos de basura de los consumidores y minoristas, o estropeándose debido a un transporte y unas prácticas de recolección deficientes.

En caso de que la población mundial alcance los 9600 millones de personas en 2050, se podría necesitar el equivalente a casi tres planetas para proporcionar los recursos naturales necesarios para mantener los estilos de vida actuales. [3]

En 2015, la ONU aprobó la Agenda 2030 sobre el Desarrollo Sostenible, una oportunidad para que los países y sus sociedades emprendan un nuevo camino con el que mejorar la vida de todos, sin dejar a nadie atrás.

La Agenda cuenta con 17 Objetivos (Ver Figura 1) de Desarrollo Sostenible, que incluyen desde la eliminación de la pobreza hasta el combate al cambio climático, la educación, la igualdad de la mujer, la defensa del medio ambiente o el diseño de nuestras ciudades. [3]



Fig. 1. Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) [3].

Dentro de estos objetivos, hay un objetivo que apunta a la producción sostenible y es el 12: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles.

Sus metas suponen:

12.1 Aplicar el Marco Decenal de Programas sobre Modalidades de Consumo y Producción Sostenibles, con la participación de todos los países y bajo el liderazgo de los países desarrollados, teniendo en cuenta el grado de desarrollo y las capacidades de los países en desarrollo

12.2 De aquí a 2030, lograr la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales

12.3 De aquí a 2030, reducir a la mitad el desperdicio de alimentos per cápita mundial en la venta al por menor y a nivel de los consumidores y reducir las pérdidas de alimentos en las cadenas de producción y suministro, incluidas las pérdidas posteriores a la cosecha

12.4 De aquí a 2020, lograr la gestión ecológicamente racional de los productos químicos y de todos los desechos a lo largo de su ciclo de vida, de conformidad con los marcos internacionales convenidos, y reducir significativamente su liberación a la atmósfera, el agua y el suelo a fin de minimizar sus efectos adversos en la salud humana y el medio ambiente

12.5 De aquí a 2030, reducir considerablemente la generación de desechos mediante actividades de prevención, reducción, reciclado y reutilización

12.6 Alentar a las empresas, en especial las grandes empresas y las empresas transnacionales, a que adopten prácticas sostenibles e incorporen información sobre la sostenibilidad en su ciclo de presentación de informes

12.7 Promover prácticas de adquisición pública que sean sostenibles, de conformidad con las políticas y prioridades nacionales

12.8 De aquí a 2030, asegurar que las personas de todo el mundo tengan la información y los conocimientos pertinentes para el desarrollo sostenible y los estilos de vida en armonía con la naturaleza

12.a Ayudar a los países en desarrollo a fortalecer su capacidad científica y tecnológica para avanzar hacia modalidades de consumo y producción más sostenibles

12.b Elaborar y aplicar instrumentos para vigilar los efectos en el desarrollo sostenible, a fin de lograr un turismo sostenible que cree puestos de trabajo y promueva la cultura y los productos locales

12.c Racionalizar los subsidios ineficientes a los combustibles fósiles que fomentan el consumo antieconómico eliminando las distorsiones del mercado, de acuerdo con las circunstancias nacionales, incluso mediante la reestructuración de los sistemas tributarios y la eliminación gradual de los subsidios perjudiciales, cuando existan, para reflejar su impacto ambiental, teniendo plenamente en cuenta las necesidades y condiciones específicas de los países en desarrollo y minimizando los posibles efectos adversos en su desarrollo, de manera que se proteja a los pobres y a las comunidades afectadas. [4]

Ahora, teniendo en cuenta que la problemática en torno a la producción sostenible es el consumo y la producción mundial, que afecta el medio ambiente, la sociedad y el sector económico y que precisamente la producción sostenible busca es equilibrar estos aspectos mediante una producción de bienes y servicios, se deben encontrar nuevas soluciones que modalidades de consumo desde las empresa y el consumidor, es aquí, donde se puede mirar la economía circular, la producción limpia y la logística inversa como una herramienta para la producción sostenible.

Desde la empresa:

Es preciso comprender mejor los efectos ambientales y sociales de los productos y servicios, tanto de los ciclos de vida de los productos como de la forma en que estos se ven afectados por su utilización en los estilos de vida.

La identificación en la cadena de valor de los “puntos críticos” donde las intervenciones tienen mayor potencial para mejorar los efectos ambientales y sociales del sistema en su conjunto es un primer paso fundamental.

Las empresas pueden también utilizar su poder innovador para diseñar soluciones que puedan inspirar y motivar a las personas a llevar estilos de vida más sostenibles, reduciendo los efectos y aumentando el bienestar.

Desde el consumidor:

Existen dos formas principales de ayudar:

1. Reducir los desechos; y
2. Actuar de forma reflexiva a la hora de comprar y optar por una opción sostenible siempre que sea posible.

4. MECANISMOS PARA LOGRAR UNA PRODUCCIÓN SOSTENIBLE

Prácticas agrícolas sostenibles:

Esto incluye la agricultura orgánica, la agricultura de conservación y la agricultura de precisión.

La agricultura orgánica se basa en el uso de abonos y pesticidas naturales, en lugar de productos químicos dañinos para el entorno.

Otra tipología de agricultura es la conservación, esta se enfoca en la preservación de los recursos naturales mediante la reducción de la erosión del suelo y la conservación de la biodiversidad.

Por último, la agricultura de precisión utiliza tecnologías avanzadas, como el análisis de datos y el monitoreo remoto, para optimizar la utilización de recursos y reducir el impacto ambiental. [5]

Producción de energía renovable:

La producción de energía a partir de fuentes como el sol, el viento y el agua es más sostenible que la producción de energía tradicional como la generada a partir de combustibles fósiles, ya que no genera emisiones de gases de efecto invernadero y tiene un impacto ambiental menor.

Además, la producción de energía renovable puede contribuir a la reducción de la dependencia de los combustibles fósiles y a la creación de empleos en el sector de las energías limpias. [5]

Adopción de prácticas de fabricación más eficientes y respetuosas con el medioambiente:

Esto incluye la implementación de procesos de fabricación más limpios y la utilización de materiales y componentes más sostenibles.

Por ejemplo, la fabricación con materiales reciclados o la utilización de materiales biodegradables, puede contribuir a reducir la contaminación y la huella de carbono de la producción. Además, la implementación de tecnologías de eficiencia energética en los procesos de fabricación puede ayudar a reducir el consumo de energía y los costos operativos. [5]

Adopción de políticas para mejorar las condiciones laborales y el bienestar de los trabajadores:

No todas las medidas de producción sostenible van relacionadas con el sistema de producción, ya que la producción sostenible también se enfoca en mejorar las condiciones laborales y el bienestar de los trabajadores.

Esto incluye la adopción de políticas de igualdad de género y diversidad, así como la implementación de prácticas de salud y seguridad laboral adecuadas.

Además, la promoción de un salario justo y la protección de los derechos laborales contribuye a mejorar las condiciones de vida de los trabajadores y a reducir la desigualdad económica.

Fomento de la educación ambiental y la responsabilidad social empresarial:

La educación ambiental es un proceso que busca crear conciencia en las personas sobre la importancia de cuidar el ambiente y los recursos naturales.

Por otro lado, la responsabilidad social empresarial es un enfoque que busca que las empresas sean socialmente responsables y que tomen en cuenta el impacto ambiental y social de sus actividades.

5. LA ECONOMÍA CIRCULAR HERRAMIENTA PARA UNA PRODUCCIÓN SOSTENIBLE

La economía circular establece un modelo de producción y consumo más sostenible, en el que las materias primas se mantienen más tiempo en los ciclos productivos y pueden aprovecharse de forma recurrente, procurando con ello generar muchos menos residuos.

La Economía Circular (EC) permite responder a los desafíos del crecimiento económico y productivo actual porque promueve un flujo cíclico para la extracción, transformación, distribución, uso y recuperación de los materiales y la energía de productos y servicios disponibles en el mercado [6], [7].

La EC es un paradigma que tiene como objetivo generar prosperidad económica, proteger el medio ambiente y prevenir la contaminación, facilitando así el desarrollo sostenible.

Es por eso que este modelo se apoya en el principio de las 3 Rs (Reducir, Reusar, Reciclar), aplicable a todo el ciclo de vida de los productos [8] y en estrategias de diseño sostenible.

Las estrategias de diseño sostenible como la de Cradle to cradle propuesta por McDonough y Braungart [9] son importantes porque facilitan que los productos y servicios puedan ser reintroducidos al sistema como recursos biológicos o técnicos, es decir que actúan como catalizadoras del funcionamiento de la EC [10].

A nivel macro, pueden darse iniciativas desarrolladas en ámbitos regionales o nacionales como son las eco-ciudades, los eco-municipios o las provincias ecológicas [8]. Entendiendo que la economía circular la EC consiste en un flujo cíclico, que implica extraer, transformar, distribuir, usar y recuperar los materiales y la energía de productos y servicios [6], [7], como se muestra en la Figura 2.

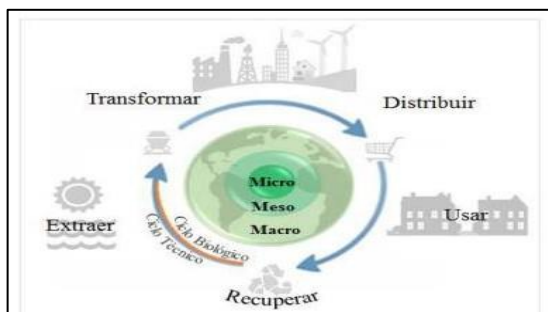


Fig. 2. Ciclo de economía circular [11].

6. LA PRODUCCIÓN LIMPIA HERRAMIENTA PARA UNA PRODUCCIÓN SOSTENIBLE

La Producción Más Limpia se puede definir como la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva integrada a los procesos, productos y servicios para aumentar la eficiencia global y reducir los riesgos para los seres humanos y el medio ambiente.

La producción más limpia P + L, conduce al ahorro de materias primas, agua y energía; a la eliminación de materias primas tóxicas y peligrosas; y a la reducción, en la fuente, de la cantidad de toxicidad de todas las emisiones y desechos, durante el proceso de producción. Esto le permite producir la misma cantidad de productos con una menor cantidad de insumos [12]. El efecto es la disminución del costo unitario de producción y al mismo tiempo, la reducción de la cantidad de residuos generada. En los productos, la P + L busca reducir los impactos negativos de los productos, de la salud y la seguridad, durante todo su ciclo de vida, desde la extracción de las materias primas, pasando por la transformación y uso, hasta la disposición final del producto. En los servicios, la P +L implica incorporar el quehacer ambiental en el diseño y la prestación de servicios. [13]

En la Fig. 3, se muestran las diferentes estrategias de producción más limpia, teniendo en cuenta una secuencia de implementación desde buenas prácticas, hasta cambios en procesos.

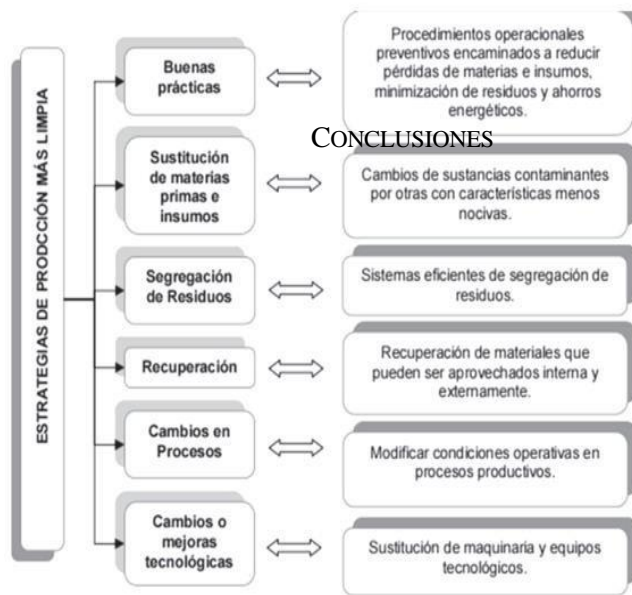


Fig. 3. Estrategias de Producción Más Limpia [12].

7. LA LOGÍSTICA INVERSA HERRAMIENTA PARA UNA PRODUCCIÓN SOSTENIBLE

El gran consumo de bienes precisa de los productores la decisión de considerar la viabilidad de los proyectos de recuperación de productos y materiales ya usados mediante algún tipo de relación cliente-productor. Esto se puede lograr mediante la implementación de una novedosa herramienta conocida como: Logística Inversa.

La logística inversa (citado por Fernández et al., 2006, p.118) es “la gestión del flujo de productos destinados al reprocesamiento, reciclado, reutilización o destrucción, incluyendo para ello las correspondientes actividades de recogida, acondicionamiento y desensamblado”. [13]

La importancia de la logística inversa ha aumentado debido principalmente a las preocupaciones ambientales, el servicio al cliente y la reducción del costo. [14]. El trabajo de Byrne y Deeb puntualiza que la actitud de los consumidores por el impacto medioambiental derivado de los desechos generados por algunos bienes, se evidencia en el consumo de los mismos, por tanto, las organizaciones están adoptando programas de logística inversa, dando lugar al llamado “marketing verde o ecológico”. [15].

Entre los procesos principales de la logística inversa tenemos la remanufactura, el reciclado y la reutilización. También existen otros procesos como son la restauración, la reparación y la canibalización. [16].

La remanufactura se basa en la recolección de un producto usado o algún componente del mismo, evaluando su condición y sustituyendo las partes rotas u obsoletas con partes nuevas o restauradas. [17].

El reciclado se fundamenta en la separación, recuperación, procesamiento y reutilización de productos y materiales obsoletos o de subproductos industriales. [18].

La reutilización o reuso es el proceso de recolectar los materiales usados, productos o componentes, distribuyéndolos o vendiéndolos como usados, después de limpiarlo o de una reparación menor, sin ser introducido nuevamente en el proceso productivo. [18].

La restauración tiene como propósito el desmontaje, la inspección y el reemplazo de componentes deteriorados de un producto usado hasta alcanzar una calidad específica. [17].

La reparación consiste en restituirle la funcionalidad al producto usado mediante el arreglo o la sustitución de las partes deterioradas. [19].

La canibalización se basa en la recuperación de sólo algunas partes de los productos usados, las cuales se utilizarán en otros productos o componentes [19].

CONCLUSIONES

Se puede concluir que la producción sostenible como modelo aplicable al interior de cualquier organización conlleva a beneficios tanto ambientales, como sociales y de desarrollo económico, puesto que, si se produce bajo el enfoque de “hacer más y mejor con menos” como lo dice la ONU, se puede lograr beneficios tales como:

La producción sostenible tiene muchos beneficios, tanto para el medio ambiente como para la sociedad y la economía. Algunos de estos beneficios son:

- * Reducción de los costes de la materia prima, servicios, tratamiento de residuos y operaciones de mantenimiento.

- * Mayor eficiencia en el uso de los recursos y la energía, lo que implica un menor impacto ambiental y una mayor competitividad.

- * Mejora del rendimiento de los procesos productivos, al optimizar la calidad y la cantidad de los productos y servicios.

- * Prevención de accidentes industriales y enfermedades, al mejorar las condiciones de seguridad y salud de los trabajadores y las comunidades.

- * Incremento de los ingresos debido al reaprovechamiento de los materiales, la innovación y el acceso a nuevos mercados.

- * Ahorro de dinero, al cumplir la legislación ambiental y evitar el pago de multas o sanciones.

- * Contribución a la mitigación de la pobreza y a la transición hacia economías verdes y con bajas emisiones de carbono, al generar empleos ecológicos, mejorar el acceso a los servicios básicos y promover estilos de vida sostenibles.

* Alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, que son el plan maestro para conseguir un futuro sostenible para todo.

En este contexto la producción sostenible se vale del uso de herramientas, tales como economía circular, producción limpia y la logística inversa, para minimizar las posibles problemáticas que se puedan presentar en diferentes circunstancias que afecten el medio ambiente, el progreso económico y social; de tal forma que se conviertan en posibles soluciones.

AGRADECIMIENTOS

El autor reconoce las contribuciones de: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/pilas-y-acumuladores/> DANE. Economía circular.

<https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/economia-circular/economia-circular-1-reporte.pdf>

Braungart M, McDonough W. *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*. Madrid: McGraw-Hill; 2005.

Los cuales aportaron claridad al abordar los concepto y desarrollo sostenible y economía circular.

REFERENCIAS

[1] Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible Argentina, Producción sostenible: [En línea]. Disponible en:

<https://www.argentina.gob.ar/ambiente/desarrollo-sostenible/produccion-sostenible#:~:text=La%20producci%C3%B3n%20sostenible%20es%20un,a%20trav%C3%A9s%20de%20un%20enfoque>

[2] Asamblea Nacional de los Estados Unidos. Antecedentes de Desarrollo sostenible [En línea]. Disponible en:

<https://www.un.org/es/ga/president/65/issues/sustdev.shtml>

[3] Naciones Unidas. [Página Web]. 17 objetivos para transformar nuestro mundo. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>

[4] Naciones Unidas. [Página Web]. Metas para garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles. Disponible en:

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-consumption-production/>

[5] ECOEMES.

<https://ecoembesdudasreciclaje.es/produccion-sostenible/>

[6] Stahel, W. R., “Circular Economy,” *Nature*, pp. 6–9, 2016.

[7] Park, J. et al., “Creating integrated business and environmental value within the context of China’s circular economy and ecological modernization,” *J. Clean. Prod.*, vol. 18, no. 15, pp. 1492–1499, Oct. 2010.

[8] Yuan, Z. et al., “Where Will China Go? A Viewpoint Based on an Analysis of the Challenges of Resource Supply and Pollution,” *Environ. Prog.*, vol. 27, no. 4, pp. 503–514, 2008.

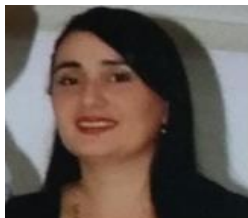
[9] McDonough, W. and M. Braungart, *Cradle to cradle: remaking the way we make things*. New York: North Point Press, 2002., 2002.

[10] Prieto-Sandoval, V. et al., “Circular Economy: An economic and industrial model to achieve the sustainability of society,” in *Proceedings of the 22nd Annual International Sustainable Development Research Society Conference. Rethinking Sustainability Models and Practices: Challenges for the New and Old-World Contexts*, vol. 2, no. July, R. F. Joanaz de Melo, João; Disterheft, Antje; Caeiro, Sandra; Santos and T. B. Ramos, Eds. Lisbon: ISDRS, 2016, pp. 504–520.

[11] Vanessa Prieto-Sandoval, Carmen Jaca. *Economía circular: Relación con la evolución del concepto de sostenibilidad y estrategias para su implementación*. [En línea]. Disponible en: https://dadun.unav.edu/bitstream/10171/53653/1/Economia_Circular.pdf

[12] Henry. F. Fajardo. (2018). La Producción mas limpia como estrategia ambiental en el marco del desarrollo sostenible consejo nacional de la empresa privada. *Revista Ingeniería, matemáticas y ciencias de la comunicación*. [En línea]. Disponible en: <http://ojs.urepublicana.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/395>

- [13] Bustos F., Carlos E. La logística inversa como fuente de producción sostenible. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/257/25739666002.pdf>
- [14] Alshamrani, A., Mathur, K. y Ballou, R. (2007). Reverse logistics: simultaneous design of delivery routes and returns strategies. *Computers & Operations Research* 34, pp. 595–619.
- [15] González, J. y González, O. (2001). Logística inversa: un análisis conceptual de nuevos flujos físicos en los canales de distribución. *Revista Esic Market*
- [16] Jayaraman, V., Patterson, R. y Rolland, E. (2003). The design of reverse distribution networks: Models and solution procedures. *European Journal of Operational Research* 150, pp. 128–149
- [17] Kumar, S. y Malegeant, P. (2006). Strategic alliance in a close loop supply Chain, a case of manufacturer and eco-non-profit organization. *Tecnovation*, Volume 26, Issue 10, Pages 1127-1135.
- [18] Fernández, E., Avella, L. y Fernández, M. (2006). *Estrategia de producción*. Segunda edición. Madrid: McGraw Hill.
- [19] Beamon, B. y Fernández, C. (2004). Supply-chain network configuration for product recovery. *Production Planning & Control*, Vol. 15, No. 3, pp. 270–281.



Sandra Milena Duarte Gómez 1.

Ingeniera de producción, 2006, Instituto Universitario de la Paz. Barrancabermeja-Colombia.

Especialista en salud ocupacional, 2014, Universidad del Norte. Barrancabermeja-Colombia.

13 años de experiencia laboral como coordinadora de los sistemas de gestión: integral,

Seguridad y salud en el trabajo y calidad; coordinadora HSE.

3 años experiencia en docencia.

Las áreas de interés de investigación son la producción y la seguridad y salud en el trabajo.