

2022



IBERO

De:

 Planeta Formación y Universidades

**PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO DE
EVAPORACIÓN PARA LA FABRICACIÓN DE LA PANELA, EN LA CENTRAL
DE MIELES DEL MUNICIPIO DE UTICA (CUNDINAMARCA)**

**Jonny Rafael Plazas Alvarado,
Nofal Nagles García**

**Facultad de Ingeniería
Corporación Universitaria
Iberoamericana**



Propuesta de automatización del proceso productivo de evaporación para la fabricación de la panela, en la central de mieles del municipio de Utica (Cundinamarca)

Proposal for the automation of the production process of evaporation for the manufacture of panela, in the honey plant of the municipality of Utica (Cundinamarca)

Jonny Rafael Plazas Alvarado, Nofal Nagles García
Corporación Universitaria Iberoamericana

Eduardo May Osio, Gerardo Israel De Atocha Pech Caraveo,
Ramiro González Horta
Instituto Tecnológico Superior De Calkiní En El Estado De Campeche
(Tecnológico de México)

Andrés Felipe Cepeda Monsalve, Yenifer León Bustos
Ingeniería Industrial

Diciembre, 9 2022

Agradecimientos

A cada uno de nuestros familiares, a nuestras esposas, hijos, hijas y amigos, quienes formaron parte del esfuerzo y sacrificio de sus tiempos, para la consolidación de los resultados de esta investigación. A FEDEPANELA en especial a la Ing. Angela Martínez, quien nos abrió las puertas para conocer el sector panelero de Cundinamarca, a la Asociación de Paneleros de Utiaca (ASPRUT), y en especial a Freddy Barragán por compartirnos sus conocimientos y siempre apoyar la presente investigación.

Resumen

La automatización de procesos es la hoja de ruta que las empresas han asumido con el fin de mejorar la eficiencia de sus operaciones y minimizar la participación humana en el desarrollo de sus actividades productivas, establecer esta hoja de ruta implica asegurar un incremento en la productividad, mejores condiciones de seguridad laboral, disminuir los costos de producción e incrementar la calidad del proceso. En este sentido, la presente investigación tiene como objetivo elaborar una propuesta de automatización para el proceso productivo de evaporación empleado en la fabricación de la panela en Colombia, para ello se empleó una metodología descriptiva-correlacional, bajo un enfoque cuantitativo, dirigido a una asociación de productores de panela que cuentan con un centro de producción industrial de panela, en esto se contempló la recolección de datos ligados a las variables de producción con el fin de estandarizar y optimizar dichos datos, los cuales fueron analizados en el software Statgraphics, con el fin de validar el nivel de correlación de las variables y así poder articular el modelo de optimización del proceso. Dentro de los principales resultados se resalta el estudio de correlación que permitió validar un modelo de optimización de las variables y así establecer la propuesta de automatización al proceso productivo de la panela. Por consiguiente, se concluye que la automatización del proceso de evaporación en la producción de panela asume el control de variables como la temperatura, los grados Brix y el nivel de azúcares reductores presentes en el proceso.

Palabras Clave:

Automatización, proceso de producción, panela, azúcares reductores, optimización.

Abstract

Process automation is the roadmap that companies have assumed in order to improve the efficiency of their operations and minimize human participation in the development of their productive activities, establishing this roadmap implies ensuring an increase in productivity, better labor safety conditions, lower production costs and increase process quality. In this sense, the objective of this research is to elaborate an automation proposal for the evaporation production process used in the manufacture of panela in Colombia, for which a descriptive-correlational methodology was used, under a quantitative approach, directed to an association of panela producers that have an industrial production center of panela, This included the collection of data related to the production variables in order to standardize and optimize such data, which were analyzed in Statgraphics software, in order to validate the level of correlation of the variables and thus be able to articulate the process optimization model. Among the main results, we highlight the correlation study that allowed validating an optimization model of the variables and thus establishing the automation proposal to the production process of panela. Therefore, it is concluded that the automation of the evaporation process in the production of panela assumes the control of variables such as temperature, Brix degrees and the level of reducing sugar present in the process.

Key Words:

Automation, production process, panela, reducing sugars, optimization.

Tabla de Contenido

Introducción.....	11
Capítulo 1 – Fundamentación conceptual y teórica	15
1.1. Optimización de procesos.....	15
1.2. Automatización de procesos.....	16
Capítulo 2 - Aplicación y Desarrollo.....	16
2.1 Tipo y Diseño de Investigación	17
2.2 Población o entidades participantes	17
2.3 Definición de Variables o Categorías	17
2.4 Procedimiento e Instrumentos.....	20
2.5 Consideraciones Éticas	21
2.6 Alcances y limitaciones.....	21
Capítulo 3 - Resultados	22
3.1 <i>Caracterización del Proceso de Producción de Panela en la Central de Mielés (Cundinamarca)</i>	22
<i>Fuente. Autor</i>	23
3.1.1. Verificación de Calidad de Mielés	23
3.1.2. Recepción de Mielés	24
3.1.2.1 Descargue.....	24
3.1.3. Pesaje.....	24
3.1.4. Toma de muestras.....	25
3.1.5. Filtrado de Mielés.....	25
3.1.6. Almacenamiento de Mielés.....	25
3.1.7. Evaporación de Mielés	26
3.1.8. Enfriamiento de la Melaza.....	27
3.1.9. Pulverizado de Panela.....	28
3.2. Características del Proceso de Evaporación	28
3.3. Estudio de las variables de Optimización.....	30
3.3.1. Estudio de la Variable temperatura	31
3.3.2. Estudio de la Variable Grados Brix	32
3.3.3. Estudio de la Variable PH.....	33
3.3.4. Estudio de la Variable (%) Sedimentación.....	34
3.3.5. Análisis de variable de Azúcares reductores.....	34

3.3.6.	Análisis de Relación de Variables.....	35
3.4.	Estudio Modelo de Optimización.....	36
3.5.	Propuesta de Automatización.....	38
3.5.1.	Planear y diseño Conceptual.....	38
3.5.2.	Necesidad No.1. Regulación Input – Output de fluido.....	39
3.5.3.	Necesidad No.2. Control de variables en la Concentración de mieles. 40	
3.5.4.	Necesidad No.3. Eficiencia térmica y regulación de vapores.....	41
Capítulo 4 –	Conclusiones	44
4.1	Cumplimiento de objetivos del proyecto	44
4.2	Aportes a líneas de investigación de grupo y a los Objetivos del Desarrollo Sostenible - ODS.....	46
4.3	Producción asociada al proyecto	47
4.4	Líneas de trabajo futuras	47
Anexos		48
Referencias		50

Índice de Tablas

Tabla 1. Parámetros de verificación en la Calidad de Mieles.	23
Tabla 2. Cursograma analítico del proceso de Evaporación Fuente. Autor.	29
Tabla 3. Datos de variables para el proceso de Evaporación Fuente. Autor.	30
Tabla 4. Pruebas de Múltiple Rangos para Temperatura por LOTES.....	31
Tabla 5. Pruebas de Múltiple Rangos para °Brix por LOTES.....	32
Tabla 6. Tabla ANOVA para (%) Sedimentación por LOTES	34
Tabla 7. Prueba de Kruskal-Wallis para Azucares Reductores por LOTES	34
Tabla 8. Correlación Ordinal de Spearman.....	35
Tabla 9. Regresión Múltiple – Azucares reductores.	36

Índice de Figuras

1	Figura 1. Distribución por actividad Económica y tamaño de empresa.....	11
2	Figura 2. Distribución por actividad Económica y Tamaño de empresa	12
3	Figura 3. Comportamiento del punto de ebullición por Brix.....	19
4	Figura 4. Dinámica de la Viscosidad de la Panela.....	19
5	Figure 5. Value Stream Mapping (Central de Mieles).....	23
6	Figura 6. Caja y Bigotes Comparación de Medias de la Temperatura-Lotes.....	31
7	Figura 7. Caja y Bigotes Comparación de Medias de la °Brix-Lotes.....	32
8	Figura 8. Dispersión del Nivel de PH – Lotes de Producción.....	33
9	Figure 9. Caja y Bigotes Comparación de Medias del PH-Lotes	33
10	Figura 10. Caja y Bigotes Comparación de Medias del % Sedimentación-Lotes .	34
11	Figure 11. Gráfico de regresión Múltiple.....	37
12	Figura 12. Diseño y Simulación de Válvulas + fluido (temperatura) (Input – Output).....	39
13	Figura 13. Diseño y Simulación de Válvulas + fluido (temperatura) (Input – Output).....	40
14	Figura 14. Diseño y Simulación de sensor tree	41
15	Figura 15. Diseño y Simulación de sensor tree	42
16	Figura 16. Diseño Propuesta de Automatización de Tolva de Evaporación.....	43

Índice de Anexos

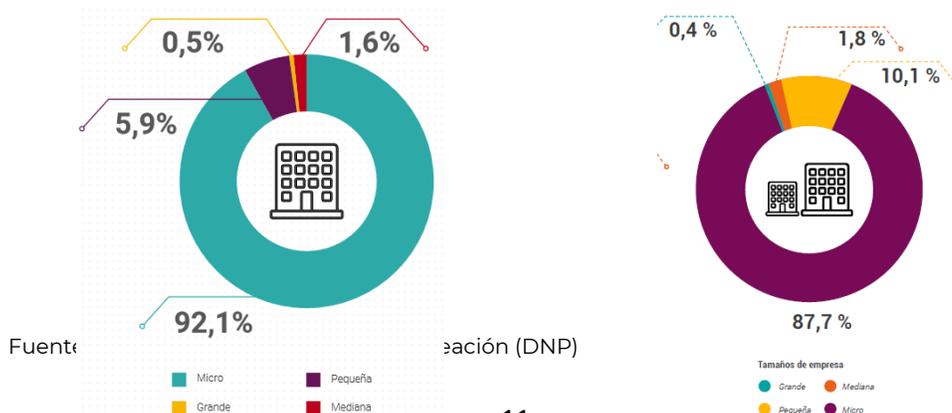
ANEXO 1. ACUERDO DE CONFIDENCIALIDAD.....	51
---	----

Introducción

Cuando se habla de la automatización de un proceso de producción y/o fabricación, es necesario remontarse a las invenciones desarrolladas por James Watt, quien en el año de 1784 daba a conocer al mundo las máquinas de doble efecto, las cuales contaban con un sistema de distribución de vapor y un regulador de bolas que garantizaban una velocidad constante en el mecanismo, independiente de la carga. En ese contexto histórico y desde hace ya más de dos siglos todos los procesos de fabricación en el mundo han sido sujetos de estudios e investigaciones que han tenido como único objetivo la eficiencia mecánica y operativa de una sucesión de acciones, que suceden en una estructura cerrada propia de una máquina y/o herramienta tecnológica, y que tienen como fin último la realización de un proceso de transformación de un insumo a un producto final (Moreno, 1999).

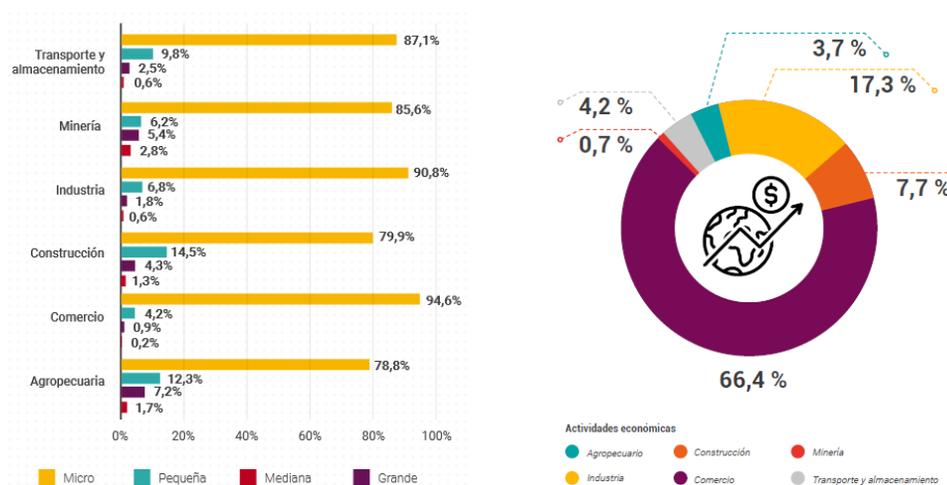
En este sentido, los procesos de automatización son uno de los factores en la industria, sobre los cuales, una pequeña empresa se pueda visualizar en el marco de una gran industria, pero para ello es necesario rescatar las cifras del tamaño de las empresas y las actividades económicas a las que estas pertenecen y que han optado por incluir iniciativas tecnológicas en sus procesos. Por tanto, las cifras en Colombia frente a la pequeña y mediana empresa han sido alentadoras desde el año 2018, a razón de la acertada articulación entre la investigación y las mejoras a los procesos productivos, lo cual se refleja en una reducción de la Microempresa de un 92,1% (2018) a un 87,7% (2020), lo cual muestra un crecimiento en el siguiente eslabón de la pequeña empresa colombiana.

Figura 1. Distribución por actividad Económica y tamaño de empresa



En un segundo momento, es clave resaltar para la presente investigación, la realidad del sector agropecuario colombiano, el cual para el año 2018, representaba el 2,2% de las empresas que se desenvuelven en actividades agropecuarias y de este porcentaje el 78,8% estaba representando por la microempresa. Una notable diferencia al año 2020 es el crecimiento del sector a un 3,7%.

Figura 2. Distribución por actividad Económica y Tamaño de empresa



Fuente: Departamento Nacional de Planeación (DNP)

Por consiguiente, una de las razones de este crecimiento, ha sido el uso de sistemas tecnológicos que han garantizado la apertura de nuevos mercados y la confiabilidad del consumidor final en los bienes y/o servicios de estas empresas emergentes. Pues según la Cifras del Departamento Nacional de Planeación (DNP), la implementación de Tecnologías propias de la Industria 4.0 en las pequeñas y medianas empresas, muestran que el porcentaje de las empresas del país que conocían al menos una herramienta tecnológica llegó al 88,7%, mientras que en el 2018 esta cifra era del 69,3%, lo cual pone en evidencia la tendencia de las empresas colombianas por automatizar sus procesos en la búsqueda de mayor eficiencia y calidad en la producción de sus productos. (Departamento Nacional de Planeación, 2020)

En esta misma dirección, el sector agropecuario colombiano involucra una de las industrias más tradicionales del país, como lo es la fabricación de panela, un proceso que inicia con los cultivos de la caña panelera y que

en la actualidad han abarcado 28 departamentos en con alrededor de 511 municipios del territorio nacional, los cuales cuentan con cerca de 198.856 Hectáreas sembradas, que representan 1.091.502 Toneladas de producción de panela durante el último año (2020) y para alcanzar dicho nivel de producción, se cuentan en la actualidad con más de 20.000 trapiches, concentrados en 164 municipios, que incorporan unas 350.000 personas en los procesos de siembra, elaboración, distribución y comercialización de la panela. De acuerdo con lo anterior, y con estadísticas de FEDEPANELA, (Federación que agrupa a 164 municipios por medio de comités municipales), se sabe que, en los últimos años, este sector de producción ha tomado un importante nivel del 3% dentro del Producto Interno Bruto (PIB), siendo así la segunda industria agrícola con mayor importancia productiva para el país. (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural , 2021)

Por consiguiente, el presente artículo, es el resultado de un proceso de investigación desarrollado al interior del sector panelero colombiano, en una pequeña empresa ubicada en el departamento de Cundinamarca, encargada de la fabricación de panela en bloque y panela pulverizada, este último producto, ha llevado a la mejora del proceso productivo para asegurar los gránulos de panela, que contengan un óptimo nivel de azúcares reductores, lo anterior, genero entonces la necesidad de establecer una propuesta de automatización en el proceso de evaporación de las mieles de la caña y establecer así los criterios necesarios de un modelo de optimización a partir de las variables identificadas con el fin de asegurar la calidad de la panela pulverizada que allí se produce.

Finalmente, la presente investigación tiene como objetivo elaborar una propuesta de automatización del proceso productivo de evaporación para la fabricación de la panela, en la central de mieles Cundinamarca-Colombia, y para ello será necesario caracterizar el proceso productivo de evaporación, con el fin de establecer las variables críticas en la producción de panela de la central de mieles, sumado a determinar los estándares de tiempo del proceso de evaporación, para la articulación de las variables

incluidas en la propuesta de automatización, seguido de diseñar un esquema de automatización que garantice la optimización de las variables críticas de la producción de panela en la central de mieles (Cundinamarca). De acuerdo a lo anterior, la investigación responde a la siguiente pregunta: ¿En qué medida la implementación de una propuesta de automatización al proceso productivo de evaporación para la fabricación de la panela en la central de mieles, mejorara la eficiencia y calidad de la producción?.

Capítulo 1 – Fundamentación conceptual y teórica

Dentro del desarrollo de la indagación de Literatura de la presente investigación se estableció el estudio epistemológico de variables como la estandarización y automatización de procesos, para ello fue necesario establecer una exploración bibliométrica en la base de datos Scopus, y validar las perspectivas que se han establecido frente a estos criterios.

1.1. Optimización de procesos.

Cuando se habla de la ejecución de acciones de optimización al interior de los procesos productivos, es necesario establecer un método de análisis que garantice la optimización de los tiempos, como lo señala Ordoñez (2021), para lo cual establece un método de mejora para los tiempos de producción empleados en la industria de la panela, dicha metodología está orientada a interpretar las variables que interactúan en el sistema de evaporización y que garantizan el control de los niveles de concentración de azúcar y el flujo del jarabe de caña, para lograr estos procesos de optimización, al interior de la evaporación, es clave entender que las operaciones realizadas en un evaporador consiste fundamentalmente en un proceso intercambiador de calor, que garantiza la ebullición de la solución y que permite separar la fase vapor del líquido en ebullición (Erik Orozco-Crespo, 2018)

Optimizar es entonces, una herramienta que permite la toma de decisiones en función de hacer más eficientes las actividades y/o operaciones, pues como señala Orozco-Crespo.(2018), elevar la efectividad del uso adecuado de los recursos se convierte en un reto para las compañías que buscan establecer ahorros en términos de tiempo y costo al proceso productivo. Por consiguiente, si se desea establecer un modelo de optimización en un proceso productivo será indispensable definir una estructura matemática como lo señala Pérez. (2019), en el cual se definan los parámetros que definirán una mayor eficiencia en el proceso y que estarán ligados a la solución de una función objetivo. (Peña, 2019)

En conclusión, establecer los procesos de optimización al interior de un proceso productivo, implica la identificación de un conjunto de variables que al ser articuladas dentro de un modelo de eficiencias de recursos y/o tiempo (Función Objetivo), permitan controlar dicho conjunto de variables

en términos de mayores niveles de eficiencia y disminución de costos para la producción.

1.2. Automatización de procesos.

Muchos mitos se han creado alrededor de la automatización de procesos, pues según estudios de investigadores como Carl Benedikt Frey y Michael A. Osborne. (2013), de la universidad de Oxford, señalan que el 47% de los empleos podrían desaparecer en los próximos 20 años como resultado de la automatización. Y en ese sentido, la automatización ha sido vista por los operarios de las compañías como una herramienta de innovación, pero a la vez de reducción del recurso humano, lo cual en cierta medida en palabras de Agudelo. (2020), se hace necesario que las compañías implementen cada vez elementos de intervención tecnológica que al contrario a lo que se cree, deben facilitar a los operadores el manejo de los procesos productivos en vez de sustituirlos (Carl Benedikt, 2013). Por tanto, la automatización es un proceso continuo que, según Agudelo, debo contemplar una mejora en la interacción con el operario garantizando fiabilidad y seguridad en las maniobras y una mayor respuesta de solución productiva al proceso.

Automatizar es entonces, sinónimo de seguridad por el bienestar de los operarios, puesto que como señala Paredes. (2021), se debe crear estrategias de asignación en los dispositivos de producción que minimicen los riesgos atribuidos de carga de postura que asumen los operarios en el desarrollo de sus actividades. Por tanto, la mejora de los procesos productivos está ligado simultáneamente a un fortalecimiento de la relación hombre-maquina, en pro de cumplir con sus actividades. Por consiguiente, en la agroindustria colombiana de la caña de azúcar no centrífuga según Moreno. (2021), la automatización ha sido una herramienta para el fortalecimiento de los procesos de clarificación de la panela, pues han aportado a la minimización de la toxicidad conservando los atributos naturales de la Panela. En conclusión, la consolidación de un proceso de automatización implica la articulación de variables que se desean controlar con el único objetivo de hacer más eficiente el proceso productivo y reducir el nivel de riesgo al que se exponen los operarios a la hora de interactuar con los equipos vigentes.

Capítulo 2 - Aplicación y Desarrollo

2.1 Tipo y Diseño de Investigación

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, el cual garantizó la validación de los datos, desde el modelo de análisis de correlación y definió así la estructura de variables a optimizar al interior del proceso productivo.

2.2 Población o entidades participantes

La población empleada al interior de la presente investigación se desarrolló con los colaboradores de la central de Miel de la central de Miel del departamento de Cundinamarca (Colombia), quienes apoyan los procesos productivos de fabricación de la Panela, esta central de mieles es un punto de acopio para la región norte de Cundinamarca, en el cual, los municipios aledaños a esta central de mieles, estos aportan municipios de la mano de sus pequeños productores de panela, producen cantidades (Lt) a limitadas de jarabe de caña, el cual es el insumo para el proceso productivo de este centro de acopio. En lo que se respecta a la muestra se validaron las características de cada uno de los procesos productivos y se determinó el estudio de la evaporación de la panela, como proceso de análisis para la presente investigación.

2.3 Definición de Variables o Categorías

En la determinación de las variables que conllevan a la consolidación de un diseño de automatización del proceso de evaporación para la producción de panela, fue clave identificar dos factores, y en cada uno de ellos un conjunto de variables que al ser articuladas garantizan un modelo óptimo, que definen el punto específico en el cual, la miel de caña empleada para la panela granulada es el adecuado.

Dichos factores fueron definidos como: El punto adecuado de la miel de caña para la producción de panela pulverizada y el ajuste de las operaciones productivas necesarias para garantizar el nivel óptimo.

2.2.1 Factor No.1 -Punto adecuado de la Miel de la Caña-

Para estructurar este factor, fue necesario caracterizar el proceso de evaporación que experimenta el zumo de caña y desde allí se identificaron todos aquellos parámetros que están presentes en un volumen específico (para este caso 530 cm³), estos parámetros regulan el comportamiento del proceso y originan una miel de caña evaporada que pasa a un estado sólido. En ese sentido, se identificaron las siguientes variables:

2.2.1.1 Intervalos de temperatura que debe experimentar el volumen de jarabe de caña en su transición a miel de caña. (Temperatura de Ebullición).

2.2.1.2 Niveles de concentración que alcanza el jugo de caña durante el proceso de evaporación, y que se valoran en grados Brix (°)

2.2.1.3 Valor del PH que experimenta el jugo de Caña en su transición a miel de caña, el cual se liga a los intervalos de temperatura presentes en la fase de evaporación.

2.2.1.4 El porcentaje (%) de Sedimentación con el cual, el jugo de caña es ingresado al interior de la etapa de evaporación.

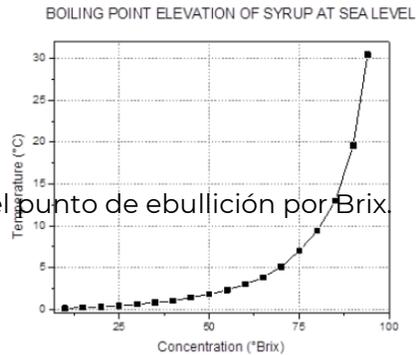
2.2.1.5 El grado (°) de pureza y/o azúcares reductores presentes al interior del jugo.

2.2.1.6 Los niveles de Presión presentes al interior de los equipos de evaporación (PSI).

En este orden de ideas, el proceso de investigación ejecutado en campo, para identificar las características ideales y/o establecidas que se deben lograr en el jugo de la caña de azúcar, (Aunque dentro de la industria panelera no se evidenciaron datos preestablecidos, puesto muchos de ellos aún son empíricos y dependen de la experticia del operario), permitió inferir que la evaporación de la miel de caña alcanza un punto de ebullición bajo un rango de temperaturas en condiciones superiores a alturas por encima del nivel del mar. Dichos rangos de temperatura permitieron además

interpretar un aumento considerable de la concentración lo cual se puede contrastar con los estudios definidos por P. Honig (1985).

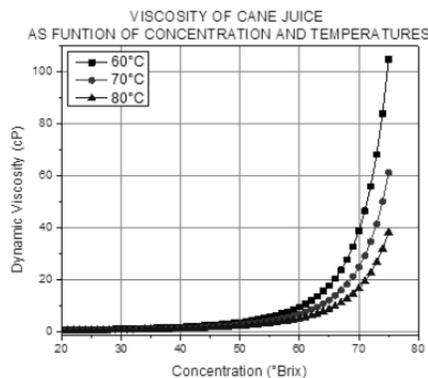
Figura 3. Comportamiento del punto de ebullición por Brix.



Fuente:

Por consiguiente, la regulación de los intervalos de temperatura define una dinámica activa entre la viscosidad presente en el jugo de caña y la concentración que se espera. (Figura No.3)

Figura 4. Dinámica de la Viscosidad de la Panela.



Fuente:

Por tanto, en las indagaciones de campo realizadas al interior de los procesos de evaporación y de acuerdo a las observaciones y mediciones realizadas de la mano de la experticia de los operarios, se estableció que la temperatura presente para un punto de concentración idóneo es de 125°C, la cual condiciona un nivel de 74° Brix, partiendo de un porcentaje (%) de Sedimentación inferior al 5% en el jugo de la caña ingresado a los equipos de evaporación y con valores de PH cercanos al 8,3 durante el proceso. De acuerdo, con el estudio de estas primeras variables presentes en la primera dimensión es necesario establecer un conjunto de criterios que garanticen la obtención continua de estos valores. (Mucilage and cellulosic derivatives as clarifiers for the improvement of the non-centrifugal sugar production process, 2022).

3.3.2 Factor No.2 - Ajuste de las operaciones productivas necesarias para garantizar el nivel óptimo-

En este segundo factor se identificaron todos aquellos parámetros operativos de intervención en los equipos de evaporación de los jugos de caña, allí fue clave validar que las operaciones articuladas con las mejoras en los equipos garantizan la consolidación del punto exacto de solidificación de la panela para ser transformada en panela pulverizada. En ese sentido, se identificaron aspectos claves como:

3.3.2.1 Regulación constante de la Temperatura durante el proceso de Evaporación, lo cual implica dispositivos de sensorización distribuidos en puntos claves del equipo. La regulación de dicha temperatura se condiciona a los niveles de presión presentes en los equipos de evaporación.

3.3.2.2 Medición frecuente del PH del jarabe de caña, durante el proceso de evaporación, la cual debe estar articulada con la regulación de la temperatura, para lograr mantener esta variable estable y acorde con los parámetros de solidificación establecidos para la panela.

3.3.2.3 Regulación específica del volumen de jarabe de caña que ingresa a los equipos de evaporación

3.3.2.4 Regulación de los niveles de concentración que alcanza el jugo de caña durante el proceso de evaporación, para ello se deben establecer dispositivos de sensorización en grados Brix (°).

2.4 Procedimiento e Instrumentos

En el cumplimiento de los objetivos de la Investigación, se validaron dos procedimientos claves en la caracterización y formulación del modelo de optimización de la propuesta, el 1ero de ellos fue la caracterización de cada uno de los procesos productivos al interior de la central de mieles y para ello se empleo un diagrama de procesos, el cual valido cada una de las tareas y micro tareas del proceso productivo y se estableció el tiempo de ejecución de dichas actividades, seguido a ello se empleo un Value Stream Mapping

como una herramienta de observación e identificación de la continuidad de los procesos. Finalmente, se estableció una matriz con las respectivas variables identificadas en la caracterización, este instrumento de recolección de datos permitió el levantamiento de los datos provenientes de los dispositivos de medición como termómetros, Luxómetros, PH-metros y manómetros, los cuales se obtuvieron a partir de tres lotes de producción en intervalos de tiempo diferentes.

2.5 Consideraciones Éticas

Los aspectos éticos de la presente investigación se establecieron en el nivel de riesgo mínimo, en tanto que, la obtención de datos se validó directamente desde las tolvas de evaporación, y para ello fue necesario plasmar un consentimiento informado en cada uno de los colaboradores y líderes que apoyaron la gestión y consolidación de la información del proceso productivo. (Véase anexos)

2.6 Alcances y limitaciones

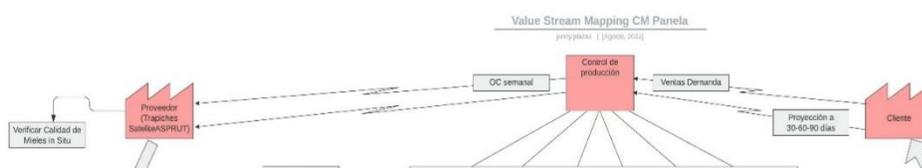
El alcance de la investigación se estableció, en la consolidación de la propuesta de automatización la cual se estructuro en tres momentos, como fueron la caracterización del proceso productivo, la definición de un modelo de optimización y el diseño y/o simulación de las variables a optimizar en el nuevo sistema de evaporación para la central de mieles, por consiguiente, los resultados esperados evidenciaron una propuesta de automatización simulada en Solid Works, la cual valido el nivel optimo de las variables y las condiciones ideales de operación. Entre las limitaciones de la investigación se evidencio la disponibilidad de tiempo de ciertos colaboradores para la validación de hipótesis y/o articulación de la propuesta obtenida, lo anterior debido a la alta demanda productiva en la CM, y la limitación del número de colaboradores que apoyaran la gestión.

Capítulo 3 - Resultados

Los resultados de la presente investigación están estructurados bajo cuatro momentos, que permiten la consecución de los objetivos trazados, estos inician con la caracterización del proceso de producción de la panela, empleando para ello un Value Stream Mapping y un cursograma analítico del proceso, como herramientas de análisis para la validación de las variables del estudio, seguido a ello se muestra una etapa de la estandarización de las variables, en la cual se establecieron modelos de correlación entre las variables críticas que permitieron definir los factores que aseguraron los valores ideales para la producción de la melaza de panela, en un tercer momento se evidencia la propuesta de automatización del proceso de evaporación la cual consta de la simulación del modelo de optimización y de la propuesta de modelamiento en Solid Works de cada una de las piezas del nuevo equipo que se propone para la evaporación esta etapa se fundamenta en el método de Pahl y Beitz, finalmente la investigación se centra en señalar cada uno de los aspectos que hacen factible la futura implementación de dicha propuesta y las recomendaciones necesarias en la consolidación de la propuesta. (Hari, 2015)

3.1 Caracterización del Proceso de Producción de Panela en la Central de Mieles (Cundinamarca)

El punto de partida de la actual investigación se orientó en sus inicios a la caracterización de los procesos productivos de la central de mieles, identificando en primera medida los aspectos técnicos de los equipos involucrados y la caracterización de los métodos necesarios en la ejecución de las operaciones productivas, por tanto, se presenta a continuación los aspectos generales del ciclo productivo de la Central de mieles, con el único objetivo de contextualizar el entorno donde se articula la actual investigación y la continuidad de las variables del proceso.



Fuente. Autor.

3.1.1. Verificación de Calidad de Mieles

La base del proceso de producción de la CM, tiene como punto de inicio, las visitas técnicas que realizan los operarios de ASPRUT a cada uno de los trapiches satélites miembros de la asociación, quienes con anterioridad, han implementado un proceso productivo para la elaboración de “Jarabe de Caña” el cual servirá de insumo para la fabricación de productos paneleros en esta central, el objetivo de esta visita, es verificar las propiedades físicas del jarabe de la Caña de acuerdo a los requerimientos que los clientes finales solicitan a la CM, para esto, se hacen mediciones de grados Brix, porcentaje de humedad y temperatura, en la parte final del ciclo productivo de los trapiches (Concentración de la mieles), dichas mediciones garantizan las condiciones mínimas de calidad, en la recepción de las mieles y permiten controlar las variables de homogenización de estas en el proceso. Las especificaciones que se buscan validar son:

Tabla 1. Parámetros de verificación en la Calidad de Mieles.

<i>Variable</i>	<i>Valores</i>	<i>Aspectos Claves</i>
<i>Grados Brix</i>	65-67° Bx	Niveles aptos para producción
<i>PH</i>	6 - 6.2	Valores ideales de acidez.
<i>Volúmenes</i>	45 – 50 Kg	Capacidad de Canecas (Kg)
<i>Sedimentación (Sedimentos por cm³)</i>	< 10%	Superior a este Conflicto azúcar
<i>Temperatura</i>	115° C	Temperatura de Ebullición

3.1.2. Recepción de Mieles

Esta segunda etapa del proceso productivo inicia con el descargue del Jarabe de la caña proveniente de los trapiches satélites afiliados a ASPRUT, dicho Jarabe viene almacenado en Canecas de 45 a 50 Kg aproximadamente y se descarga bajo un determinado número de canecas de acuerdo con el nivel de producción de los trapiches previamente visitados. Allí, los operarios de la CM proceden inicialmente a hacer un proceso de pesaje y de verificación de las propiedades de Calidad (PH, Grados Brix, azúcares reductores), estas actividades implican la validación de los parámetros anteriormente señalados, y, por tanto, el cumplimiento de estos garantiza una mayor calidad y eficiencia en el proceso de producción de la panela pulverizada. Por consiguiente, estas actividades se han caracterizado de la siguiente manera:

3.1.2.1 Descargue. Esta primera actividad del proceso de recepción de las mieles, parte desde el transporte del jarabe de la caña, el cual los propietarios de los diferentes trapiches asumen ejecutar desde su punto de producción, hasta el punto de acopio en la Central de Mieles, en dicho punto, los colaboradores de la CM, se enfrentan al reto de apoyar el proceso de descargue de cada una de las canecas, lo cual tiene sus limitaciones, puesto que se evidencia que caneca por caneca es cargada manualmente por los operarios en desplazamientos de 4 a 5 metros, lo cual ocasiona fatigas musculares y patologías en la columna vertebral de los colaboradores, quienes deben seguir a esto continuar con las actividades de la recepción.

3.1.3. Pesaje.

Actividad seguida a esto, se procede a realizar un pesaje de cada una de las canecas que se descargan, y ahora se adiciona un esfuerzo adicional de levantamiento de carga, para poder ubicar cada caneca sobre la báscula, con el fin de poder identificar el peso real de cada caneca, allí mismo se registró de manera manual el peso identificado y se relaciona el total de Kilogramos que el proveedor del jarabe ha traído al punto de acopio.

3.1.4. Toma de muestras.

En un tercer momento, los colaboradores de la CM, proceden a dar apertura de manera aleatoria a algunas de las canecas del proveedor, para tomar de allí pequeñas muestras sobre las cuales se validarán las propiedades de PH, Grados Brix y azúcares reductores, esta muestra se convierte en el parámetro clave para la formalización del pago de la cantidad de mieles entregadas. Allí el proveedor asume que al tener ciertas limitaciones en no poseer ciertos grados Brix, se somete a un menor pago por cantidad de Kg entregados.

3.1.5. Filtrado de Mieles.

En esta tercera etapa del proceso productivo, implica una serie de micro tareas para su ejecución, pues es necesario inicialmente poder retirar la tapa de cada una de las canecas, las cuales se ajustan con una mayor presión al quedar untadas de jarabe de caña y este al secarse, limita el proceso de destapado de la caneca, por ello es pertinente emplear un sistema de palanca para dar apertura a la caneca, seguido a ello los operarios deben proceder a levantar las canecas a la altura de la tolva de filtrado, lo cual implica unos esfuerzos individuales injustificados, puesto que posicionar una caneca de 45Kg a una altura de 1 metro, ocasiona mayores esfuerzos musculares y mayor desgaste en los colaboradores. Este proceso de filtrado tiene como objetivo retirar las impurezas que se encuentran en las mieles de la caña, por medio de una malla de cernir, que garantiza la continuidad de las mieles al interior de la tolva la cual cuenta con una capacidad de cerca de 1 Tonelada.

3.1.6. Almacenamiento de Mieles

Seguido a la etapa anterior, desde la tolva de filtrado, se procesa por medio de una Electrobomba a cargar los tanques de almacenamiento "Silos", los cuales cuentan con una capacidad de 5000 Litros, se cuentan con tres (3) tanques de almacenamiento y una red de tuberías y válvulas en acero inoxidable que garantizan la distribución del jarabe de la Caña, al interior de

los tanques de almacenamiento, dichos silos permiten asegurar dos condiciones claves, para el suministro de las mieles al proceso productivo, como son:

a). Asegurar niveles de sedimentación de las mieles de la caña, en un periodo de 24 a 48 horas, es decir, en este periodo de almacenamiento, las mieles permanecen en un estado de reposo inicial, el cual brinda un proceso de sedimentación en el cual las mieles se estabilizan y en el fondo de los silos se albergan los residuos e impurezas que traían consigo desde el proceso productivo de los trapiches.

b). El estado de reposo de las mieles al interior de los silos es una etapa del proceso que garantiza, la estabilización y/o Homogenización de ciertas propiedades de la miel, como son el PH, los grados Brix y la pureza, lo anterior, depende del intervalo tiempo preciso que allí permanezcan. Es de aclarar que de acuerdo con las órdenes de trabajo que se emplean en la CM y por las limitaciones de tiempo para la entrega de dichas ordenes, se encuentra que desde el proceso de filtrado de las mieles se ingresan constantemente cantidades de miel que dependen de la orden de producción, lo cual condiciona el tiempo de reposo de estas y la estabilización y la calidad de sus propiedades.

3.1.7. Evaporación de Mieles

Esta cuarta etapa del proceso productivo concentra el 60% de las actividades que se ejecutan en la fabricación de la panela pulverizada al interior de la central de Mieles, la evaporación de mieles es un proceso productivo que se da al interior de una tolva de evaporación (también conocida como tache), que cuenta con una capacidad para la concentración de mieles de cerca de una tonelada, el proceso inicia con la apertura de la válvula de suministro de mieles, proveniente de los tanques de almacenamiento, por una tubería de 2 Pulgadas de diámetro, la cual permite el ingreso de 155 Kg de Jarabe de caña aproximadamente, con la apertura de esta válvula el operario de la caldera controla a su criterio la

cantidad de jarabe ingresado y en un segundo momento da apertura a las válvulas de vapor, que regulan la temperatura al interior de la Caldera, hasta llegar a los 115 °C, temperatura ideal para el concentración del Jarabe de Caña, desde la apertura de esta segunda válvula, el operario está en la obligación de regular la presión proveniente de la caldera y de esta forma mantener la temperatura adecuada para la concentración de las mieles. (aunque no existen controles o elementos de medición que permitan controlar constantemente las variables de temperatura y volumen), en un tercer momento y como consecuencia del aumento de la temperatura en la concentración de las mieles se agrega bicarbonato de Sodio, como un aditivo antiespumante a la concentración, que permite regular la altura de la espuma de evaporación emanada como efecto de la concentración de las mieles. Finalmente, cuando la temperatura se mantiene constante sobre los 115°C, pasados 15 minutos en promedio, y bajo esta temperatura se da apertura a la válvula de salida de la tolva, para verter su contenido en tolvas de enfriamiento abierto. (Pineda-Sanchez & Marcelo-Aldana, 2021)

3.1.8. Enfriamiento de la Melaza.

Al interior de las tolvas de enfriamiento abierto, se vierten entonces el resultado de la concentración de las mieles (melaza) provenientes de los taches de evaporación, al interior de estas tolvas los colaboradores realizan inicialmente una operación de paleo, la cual consiste en “revolver” constantemente la mezcla, con el único objetivo de disminuir el grado de humedad presente y así llevar a esta melaza a un estado de solidificación más acorde con el proceso. En este proceso de paleo, los colaboradores agregan bicarbonato de sodio como un mecanismo para dinamizar el movimiento de las moléculas de la miel, y lograr minimizar en un menor tiempo el grado de humedad, al aplicar el bicarbonato de sodio se encuentra un efecto de espuma que asciende por entre las tolvas, ocasionando un mayor movimiento a la melaza y una mayor rapidez en el enfriamiento y la mitigación de la humedad relativa de la mezcla.

Finalmente, gracias a estas dos operaciones, la melaza asume una contextura de granulado, en la cual se mantiene una temperatura de 55°C, que permite aun desarrollar operaciones de granulación a mayor detalle. En este punto de enfriamiento la mezcla es llevada al proceso de pulverizado.

3.1.9. Pulverizado de Panela

En esta penúltima etapa del proceso, la mezcla granulada de panela es colocada en una pequeña tolva de molienda, con la cual se logran obtener cada vez más, pequeños gránulos de panela, que, al pasar por medio de zarandas en movimiento para obtener así un menor calibre de grano, es importante destacar que este proceso de granulación inicial se hace cíclico, es decir que los resultados de granulación provenientes de las zarandas es reintroducido nuevamente a la molienda, con el único objetivo de obtener un grano de cada vez menor espesor.

Finalmente, el resultado de este proceso de granulometría y pulverizado de la panela, culmina en el extendido de la panela pulverizada sobre amplias mesas de enfriamiento, allí la panela se encuentra a una temperatura de 40 °C, y el objetivo de esta última etapa es lograr alcanzar la temperatura ambiente, para cumplir con los procesos de empaque y pesado.

3.2. Características del Proceso de Evaporación

Luego de reconocer cada una de las etapas productivas que conforman el proceso productivo de la panela en la central de mieles, es necesario concentrar la atención en el aspecto clave de la investigación como lo es el proceso de evaporación, por ello se realizó el siguiente Cursograma analítico de estudio:

Tabla 2. Cursograma analítico del proceso de Evaporación Fuente. Autor.

Hoja No. 01 De: 01 Diagrama No.001		Operar	Mater	Maqui					
PROCESO: Evaporación de Mieles Fecha. 24 de Mayo de 2022 El estudio inicia. Ingreso de Mieles desde Silo Método: Actual. <input checked="" type="checkbox"/> Propuesto. <input type="checkbox"/> Producto: Melaza Nombre del Operario. Carlos Diaz Elaborado por: Autor Tamaño del Lote: 250 Kg		RESUMEN SIMBOL ACTIVIDAD Ac Pr Eco. O							
			Operación	8	6	2			
			Transporte	2	1	1			
			Inspección	0	0	0			
			Espera	4	2	2			
			Almacenaje	1	1	0			
		Total Actividades realizadas		15	11	4			
		Distancia Total en metros		24	19	55			
		Tiempo min/Hombre		4,3	3,8	0,5			
Número	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	Cantidad	Distancia en Metros	Tiempo en Segundos	SIMBOLOS DE PROCESOS				
									
1	Pre calentamiento Tolva de evaporación	1							
1.1	Alimentación de Caldera (madera, carbón)	1	30	0					
1.2	Encendido de Caldera	1		180					
1.3	Apertura de Válvula presión & Temperatura	1		45					
1.4	Regulación de Presión & Temperatura	1							
2	Apertura de Válvula Ingreso "Jarabe Caña"	1	0	34					
3	Llenado de la Tolva de evaporación	1		150					
4	Adición de "Antiespumante" 7 Onzas	1		10					
5	Adición de "Cal" -Regulación del PH-	1		10					
6	Ebullición de Jarabe de Caña	1		120					
7	Apertura de Válvula "Salida de Melaza"	1		10					
8	Desocupado de Tolva de evaporación	1		240					
9	Paleo de Melaza residual base de Tolva	1		40					
10	Llenado de la Tolva de evaporación	1		150					

De acuerdo con las características del proceso de evaporación identificadas en el anterior cursograma, es evidente que cerca del 50% de las actividades que se desarrollan, son operaciones de control y de mejora de las propiedades del Jarabe de caña, estas operaciones buscan garantizar la continuidad de las propiedades de grados Brix, PH y porcentaje de humedad relativa, por medio de la regulación de la temperatura y de la presión de la tolva de evaporación, en esta perspectiva, es necesario reconocer los valores actuales de estas variables y desde allí formular un modelo de optimización que asegure los parámetros ideales de esta variables y den paso a la propuesta de automatización del proceso de evaporación.

3.3. Estudio de las variables de Optimización.

Como resultado de los procesos de medición e indagación de las variables se tomaron muestras de tres lotes de Producción, y en cada lote se realizaron doce mediciones al interior de la tolva de evaporación a las cuales se les validaron las variables que se muestran a continuación:

Tabla 3. Datos de variables para el proceso de Evaporación Fuente. Autor.

<i>Producción</i>	<i>Fecha</i>	<i>Hora</i>	<i>Muestra Tomada del Equipo de Evaporación</i>	<i>Presión (PSI)</i>	<i>Temperatura Muestra (°C)</i>	<i>(%) Sedimentación (ml)</i>	<i>Grados Brix</i>	<i>Nivel PH</i>	<i>% Pureza (Azúcar Reductores)</i>	<i>Grados Brix</i>
<i>LOTE PRODUCCIÓN No. 00345</i>	31-may-22	6:25 a. m.	Tolva Evaporación No.1	150-154	27	2,51	66,53	4,62	89,01	66,53
	31-may-22	9:47a m	Tolva Evaporación No.2	150-154	26	2,07	65,08	4,94	89,27	65,08

De acuerdo a los resultados anteriores, se estableció un análisis estadístico multivariado en el cual se realizaron las respectivas pruebas en campos como la media y la mediana (ANOVA, coeficiente de Correlación de Spearman, Pearson y Shapiro Wilks) que permitieron definir el nivel de implicación de una variable sobre otra, y el grado de relación entre estas, estos análisis se establecieron inicialmente entre los diferentes lotes de producción, para validar la continuidad de las variables en el proceso y luego se realizaron correlaciones multivariadas para validar el grado de relaciones entre estas y sus implicaciones a la hora de estructurar el modelo de

optimización que garantiza las condiciones ideales de operación de estos aspectos.

3.3.1. Estudio de la Variable temperatura

De acuerdo con los análisis realizados a los datos de temperatura evidenciados en los lotes, es claro evidenciar que bajo el procedimiento de comparación múltiple, la diferencia entre las medias de la temperatura de los tres lotes es una diferencia significativamente inferior a 5.0%, lo cual indica que la temperatura es constante en la muestras y por tanto se identifican grupos homogéneos de estudio, es decir no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias (Tabla No.4), lo que permite inferir que la temperatura a la que se identificaran las demás variables del proceso son relativas a una temperatura constante para medición en los equipos.

Tabla 4. Pruebas de Múltiple Rangos para Temperatura por LOTES

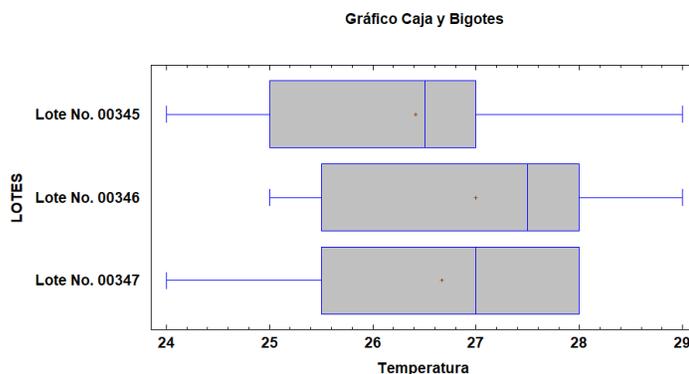
LOTES	CASOS	MEDIA	GRUPOS HOMOGENEOS
Lote No. 00345	12	26,4167	X
Lote No. 00347	12	26,6667	X
Lote No. 00346	12	27,0	X
Contraste	Sig	Diferencia	+/- Límites
Lote No. 00345 - Lote No. 00346		-0,583333	1,24028
Lote No. 00345 - Lote No. 00347		-0,25	1,24028
Lote No. 00346 - Lote No. 00347		0,333333	1,24028

Método: 95,0 porcentaje LSD

* indica una diferencia significativa. Fuente. Autor.

En este sentido, se demuestra que la temperatura es un punto de referencia para validar la relación entre las variables de los lotes estudiados y se convierte en un indicador de relación multivariado.

Figura 6. Caja y Bigotes Comparación de Medias de la Temperatura-Lotes



Fuente. Autor.

3.3.2. Estudio de la Variable Grados Brix

La validación de los datos de grados Brix, permite evaluar los niveles de concentración que alcanza el jugo de caña durante el proceso de evaporación, este nivel de concentración determina a futuro el posible nivel de fermentación del jarabe de caña y aumenta el nivel de agua. De acuerdo con lo datos obtenidos es evidente que entre las muestras analizadas no existe una diferencia significativa entre la muestra, pero es evidente que en el Lote No. 00345, se tiene una media de °Brix por encima de los 66° lo cual garantiza mayores niveles de azúcares y por tanto mayor producción de panela.

Tabla 5. Pruebas de Múltiple Rangos para °Brix por LOTES

LOTES	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Lote No. 00347	12	65,685	X
Lote No. 00346	12	65,8142	X
Lote No. 00345	12	66,1175	X

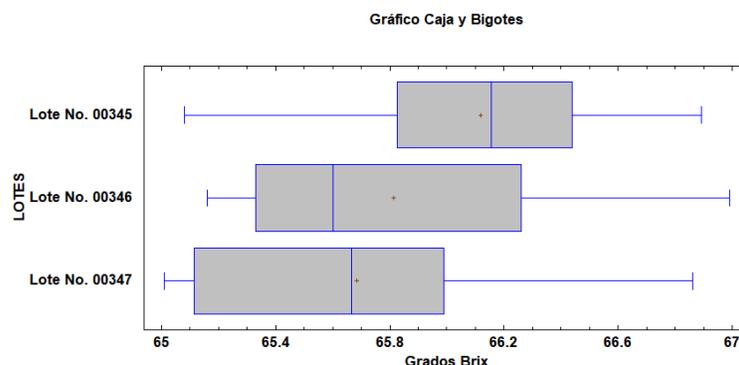
Contraste	Sig	Diferencia	+/- Límites
Lote No. 00345 - Lote No. 00346	0,303333	0,503898	0,503898
Lote No. 00345 - Lote No. 00347	0,4325	0,503898	0,503898
Lote No. 00346 - Lote No. 00347	0,129167	0,503898	0,503898

Método: 95,0 porcentaje LSD

* indica una diferencia significativa. Fuente. Autor.

Finalmente, y como se observa en el diagrama, existe un intervalo en el cual los niveles de sólidos solubles (grados Brix) garantizan un punto clave de no fermentación de las mieles, bajos niveles de agua o mayores rendimientos en la producción del Kilogramo de panela, los cuales pueden ser establecidos entre los 65.2 y los 66.4 °Brix.

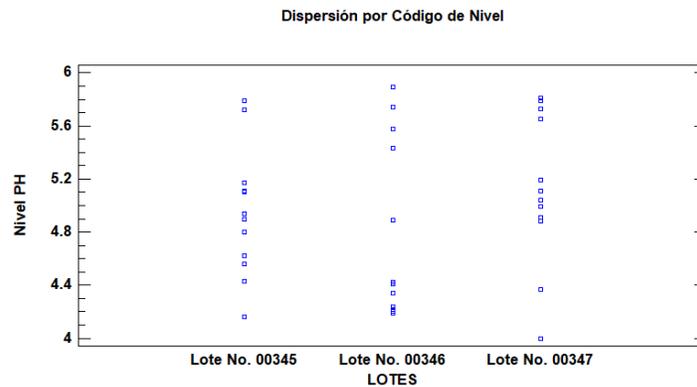
Figura 7. Caja y Bigotes Comparación de Medias de la °Brix-Lotes



Fuente. Autor.

3.3.3. Estudio de la Variable PH

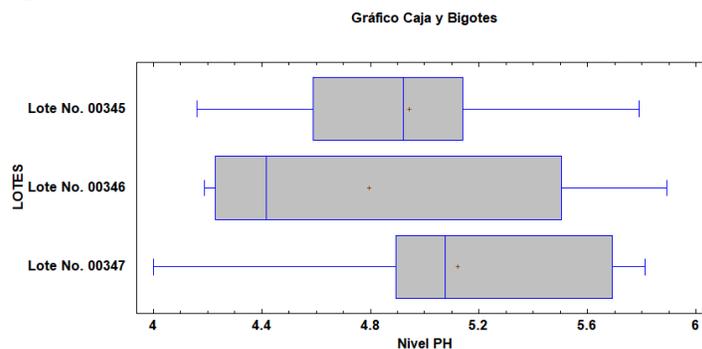
Figura 8. Dispersión del Nivel de PH – Lotes de Producción



Fuente. Autor.

Con respecto a esta tercera variable estudiada, es acertado asumir que existe una alta variabilidad entre las muestras como lo evidencia la Prueba de Kruskal-Wallis, lo cual permite inferir, que la procedencia de las mieles y la composición de esta cuestiona las prácticas de manufactura que se realizan desde los trapiches, pues es claro que la diferencia entre las mieles es mínima, pero la condiciones de PH de cada uno de los lotes, deja entre ver que existe un intervalo ideal entre los 4.56 y 5.7.

Figure 9. Caja y Bigotes Comparación de Medias del PH-Lotes



Fuente. Autor.

Los cuales dentro de la practica manufacturera de la CM y según la teoría de alistamiento de la panela, el PH es uno de los factores que garantiza que, para tener una panela de calidad con color natural y dureza óptima, el pH debe ser cercano a 6.1. El valor promedio de pH para todas las muestras fue de 5.34, valor que se ajusta a Durán et al. (2014) y Insuasty et al. (2003), quienes reportaron valores similares (entre 5,38 y 5,66). Además, si se piensa en términos de la calidad de la Panela pulverizada es indispensable que el PH final del jarabe de caña este en $6,1 \pm 0,10$, lo cual se logra adicionando una

solución de óxido de cal hidratado grado alimenticio tipo E como coadyuvante, la cual incrementa el pH final. (Durán, 2014)

3.3.4. Estudio de la Variable (%) Sedimentación.

Esta variable de estudio desencadena múltiples hipótesis frente al papel que desempeñan los sedimentos provenientes de los procesos de molienda y concentración de las mieles en los trapiches, pues los datos ponen en evidencia una alta diferencia significativa entre las medias y dejan entre ver que los lotes de Jarabe de caña que se surten a la CM, deben tender a un proceso de homogenización previo en aspectos de molienda, filtrado y concentración. (Insuasty, 2013)

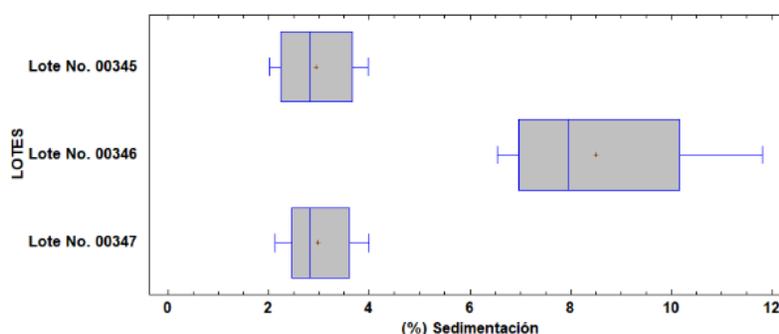
Tabla 6. Tabla ANOVA para (%) Sedimentación por LOTES

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-p
Entre grupos	247,096	2	123,548	88,39	0,0000
Intra grupos	46,1238	33	1,39769		
Total (Corr.)	293,22	35			

Fuente. Autor.

En este sentido, el % de Sedimentación es una variable que bajo de las condiciones de control de calidad desde el laboratorio de la CM, se regulan, permiten que los técnicos de ASPRUT, sigan minimizando, en tanto se evalué el rango de sedimentación <10% en las muestras que se perciben desde los trapiches satélites.

Figura 10. Caja y Bigotes Comparación de Medias del % Sedimentación-Lotes



Fuente. Autor.

3.3.5. Análisis de variable de Azúcares reductores.

Tabla 7. Prueba de Kruskal-Wallis para Azúcares Reductores por LOTES

LOTES	Tamaño Muestra	Rango Promedio
Lote No. 00345	12	16,7917
Lote No. 00346	12	19,5
Lote No. 00347	12	19,2083

Estadístico = 0,478222 Valor-P = 0,787327. Fuente. Autor

Hay que recordar que los niveles de azúcares reductores presentes en los jarabes de caña están condicionados a niveles en el PH de 5.6 a 5.8, lo cuales proporcionan mayores rendimientos en la producción de panela y en el caso de la panela pulverizada tiene un mercado apetecido en su rendimiento y comercialización. En este sentido se observa que la diferencia entre las medianas es insignificativa, como se observa en los resultados de Kruskal-Wallis, lo cual permite inferir que el (%) de azucares reductores oscila entre el 89 y el 90%, que de acuerdo con la experiencia es un valor acorde a una acertada producción de panela. (Rodriguez Zevallos, 2004)

Pero si se piensa en un producto como la panela granulada de acuerdo con Rodríguez Zevallos (2004) y Narváez (2002), para obtener un producto de buena calidad, el contenido de azúcares reductores en el jugo de caña debe ser inferior al 1,5%, por lo tanto, la calidad de la panela que se tiene aún no cumple con los niveles requeridos y para ello será clave regular los niveles de PH.

3.3.6. Análisis de Relación de Variables.

Luego de interpretar el comportamiento de las variables en el proceso de producción, es necesario interpretar el grado de asociación de estas, con el fin de validar la naturaleza del modelo de optimización, en ese sentido la correlación de Spearman permite evaluar el grado de implicación entre las variables, donde un coeficiente entre -1 y 1, indica un grado de correlación acertado, sumado al valor-P el cual debe ser superior a 0,0 e inferior a 0,05.

Tabla 8. Correlación Ordinal de Spearman

	(%) Sedimentación	Grados Brix	Nivel PH	Azucares Reductores
Temperatura	0,7363 (36)	-0,7815 (36)	-0,0615 (36)	0,7899 (36)
	0,1621	0,0406	0,7159	0,02614

En este sentido, si se interpreta el grado de relación entre la temperatura y los grados Brix, se valida que existe una correlación inversa débil lo cual lo muestra el valor p ($0,35 > 0,05$), la cual indica que a medida que se aumenta la temperatura en el proceso de evaporación los grados Brix tienden a disminuir, así una muestra que se encuentra a temperatura ambiente,

arrojara valores Brix superiores a nuestra muestra fría, lo cual es un factor clave en el proceso de concentración de las mieles, pero al tener una baja correlación es posible que la variación de la temperatura en las muestras no sea evidente. Pero si se interpretar el grado de correlación entre la temperatura y los azúcares reductores es evidente si la temperatura aumenta al interior de las tolvas de concentración se obtienen aun proporción constante de azúcares reductores, de allí que es indispensable que exista una regulación constante de la temperatura para evitar altos niveles de azúcares y llegar panelas con otro tipo de consistencia. (Narvaez, 2002)

Finalmente, se evidencia que no existe un grado de asociación entre las variables de temperatura y PH, puesto que el valor p es superior a 0.05, y ante esto es clave señalar que la variabilidad de PH, en términos de la temperatura, se liga a aditivos que estabilizan el PH, y que no dependen de la temperatura de calentamiento.

3.4. Estudio Modelo de Optimización.

De acuerdo con los análisis planteados anteriormente, es evidente que las variables de grados Brix, temperatura y el porcentaje de sedimentación guardan una correlación en la producción de azúcares reductores al interior del jarabe de caña, por tanto, estableciendo un modelo de regresión desde estos azúcares reductores hacia las otras variables que se han identificado que influyen en el proceso, se obtiene que:

Tabla 9. Regresión Múltiple – Azúcares reductores.

Parámetro	Estimación	Error Estándar	Estadístico T	Valor-P
CONSTANTE	77,4281	12,8581	6,02171	0,0000
Grados Brix	0,219254	0,188237	1,16477	0,2530
Temperatura	-0,101477	0,0804071	-1,26204	0,02163
(%) Sedimentación	0,0296927	0,0406042	0,73127	0,04701
Nivel PH	0,128608	0,199542	0,644516	0,5240

Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	1,84798	4	0,461995	0,99	0,4256
Residuo	14,4125	31	0,46492		
Total (Corr.)	16,2605	35			

R-cuadrada = 11,3648 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 0 por ciento

Error estándar del est. = 0,68185

Error absoluto medio = 0,551553

Estadístico Durbin-Watson = 1,6534 (P=0,1345)

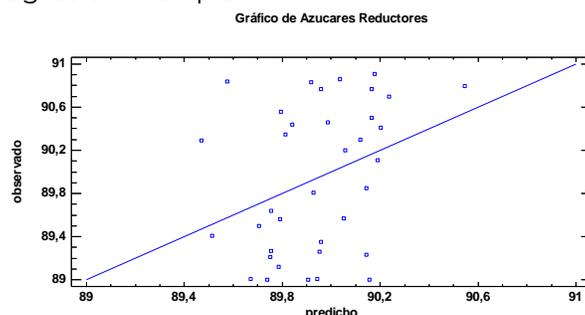
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0,14119

De acuerdo con los resultados obtenidos es evidente que las variables que se ajustan al criterio de $P < 0.05$ están implicadas en la conformación del modelo de Regresión múltiple, lo cual establece, que si se buscan hacer estimaciones de la cantidad de azúcares reductores presente en la producción de un lote de panela, es evidente que se deben validar la temperatura, los grados Brix y (%) de sedimentación presente en el jarabe de caña, es clave señalar que la variable de PH, no es relevante, puesto que esta fuera del criterio de $p < 0.05$. Por tanto, el modelo para Azúcares Reductores y que contiene 3 variables independientes, está ligado a la ecuación:

$$\text{Azúcares Reductores} = 77,4281 + 0,219254 * \text{Grados Brix} - 0,101477 * \text{Temperatura} + 0,0296927 * (\%) \text{ Sedimentar}$$

De acuerdo, a las condiciones de este modelo este permite validar niveles de error absoluto cercanos al 0.5515, y como se observa en el gráfico de Regresión de azúcares reductores, los valores observados con respecto a los valores predichos gozan de un R-cuadrada = 11,3648, lo cual valida estimaciones en la producción de los lotes de panela, de acuerdo con los datos recopilados en el proceso.

Figure 11. Gráfico de regresión Múltiple



Fuente. Autor.

3.5. Propuesta de Automatización

De acuerdo con la estructura del modelo de optimización señalado y el desarrollo del proceso investigativo, ya se cuenta entonces con el Factor No.1, es decir se ha logrado establecer el punto adecuado de la Miel de la Caña, en el cual las variables que intervienen en el proceso regulan el nivel de azúcares reductores presentes en la melaza y en el proceso y que de acuerdo con los criterios indagados para la calidad de una panela granulada el contenido de azúcares reductores en el jugo de caña debe ser inferior al 1,5%. Por consiguiente, para alcanzar estos estándares, es necesario evaluar el Factor No.2 - Ajuste de las operaciones productivas necesarias para garantizar el nivel óptimo-

En este sentido, la propuesta de automatización se estructuró bajo la metodología de diseño de Pahl y Beitz, la cual se desarrolló asumiendo las dos de cuatro etapas básicas, como son: Planear y clarificar la tarea y diseño conceptual, pero antes de ello fue necesario presentar el estado actual de las tolvas de evaporación. En este sentido, la metodología emplea a la teoría de sistemas como una forma de definir un conjunto de funciones y subfunciones, que al combinar los efectos físicos de las características geométricas y los materiales que se emplearan, permiten configurar el principio de solución para la propuesta de automatización.

Por consiguiente, el método de Pahl y Beitz gira entorno al denominado «embodiement design» (diseño para dar forma), el cual permite configurar las soluciones por módulos y así asegurar un análisis más simplificado, con el fin de retomar una propuesta más compleja y desglosarla en sus partes más elementales. En este sentido, la propuesta de automatización para el proceso de evaporación de la panela se estructuró de la siguiente manera:

3.5.1. Planear y diseño Conceptual.

En esta primera etapa, se identificaron cada una de las necesidades de mejora a establecer al interior de la tolva de evaporación las cuales se describen, para luego establecer la estructura funcional de solución, ligado

al principio de solución que articula las variables estudiadas del problema y establece finalmente unos criterios técnicos de solución. Por tanto:

3.5.2. Necesidad No.1. Regulación Input – Output de fluido.

La descripción a esta necesidad se orienta en que la actual tolva de evaporación no tiene definido la regulación de sus flujos de material, es decir el ingreso de la materia prima como es el jarabe de caña y la salida del resultado del proceso de evaporación no cuenta con un sistema de control de flujo del material, puesto que actualmente dicho flujo se regula bajo la experticia del operario y se liga a aspectos de nivel, colorimetría y de operación. Por tanto, la estructura funcional que se define para este tipo de tolvas, es el uso de válvulas laterales que estén reguladas por un sistema de control ya fuese manual o automático, en el cual se validen variables como el volumen del flujo y la temperatura, variables que al ligarlas desde un principio de control garantizan la estabilidad del proceso productivo y permiten regular aspectos como el antiespumante, el (%) de humedad de la mezcla, grados Brix y con ello el grado de concentración de los azúcares reductores. Es decir, que desde la regulación de los volúmenes de Input – Output de fluido, se pueden asegurar la estabilidad de las otras variables del sistema.

Figura 12. Diseño y Simulación de Válvulas + fluido (temperatura) (Input –



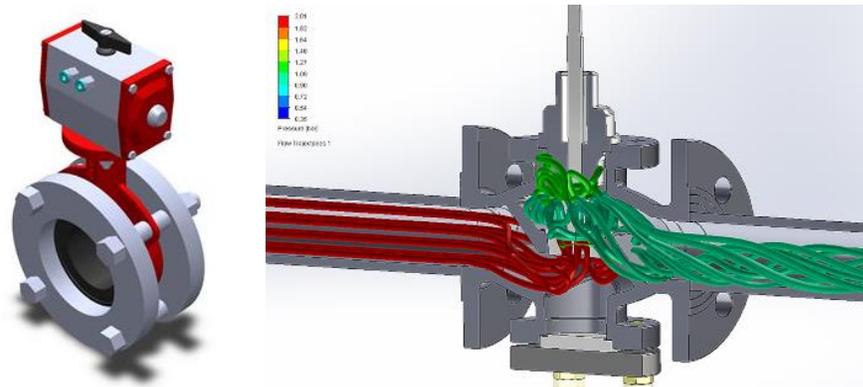
Fuente. Autor.

Como se observa en Figura No.10, se ha simulado al interior de Solid Works, el principio fundamental de válvulas de apertura de bola, las cuales para tuberías de 2 pulgadas y por las características densas del jarabe de caña, son adecuadas, allí materiales de aleación son recomendables y fueron simulados para dichas válvulas por las condiciones sanitarias de manipulación del fluido, además, se simulo el fluido a la temperatura actual

de entrada y a la temperatura de salida (95°C), con el fin de validar el comportamiento de la válvula y el denso fluido concentrado del jarabe de caña. Aunque a temperaturas >135°C y con densidades superiores a 1,7 g/ml, se ocasionan dificultades de operación de la válvula.

Por consiguiente, la regulación de la temperatura implica el diseño de un termostato para la tubería, que pueda indicar los niveles de temperatura presentes en el fluido y así regular el sistema de caldera vigente.

Figura 13. Diseño y Simulación de Válvulas + fluido (temperatura) (Input – Output)



Fuente. Autor.

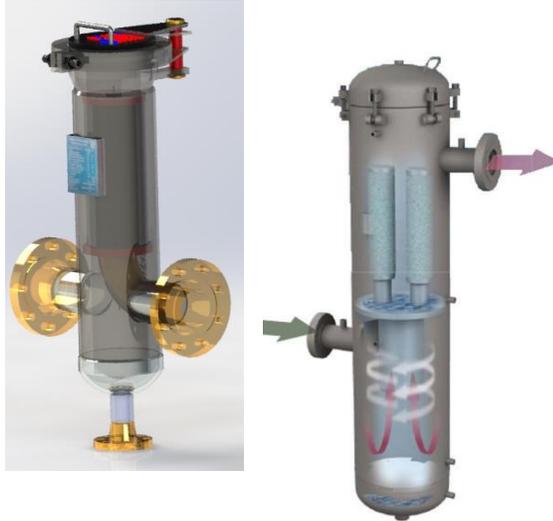
En este sentido, se definieron los diseño y simulaciones de un sistema de control de temperatura, ubicado en el paso de la tubería, que este integrado a un único panel de control, que permita visibilizar dicha temperatura de paso. Es clave señalar, que no es acorde integrar un sistema de medición de temperatura con los principios de válvula, asumiendo a futuro posibles aspectos de mantenimiento y cambio de piezas en el proceso.

3.5.3. Necesidad No.2. Control de variables en la Concentración de mieles.

Ante la carencia de medición y regulación de las variables como grados Brix, PH, (%) de Humedad y temperatura, las cuales aseguran la calidad de la panela granulada se define que la estructura funcional para esta situación en las tolvas, es la implementación de un “Sensor tree”, que contenga una sonda de medición de temperatura del fluido, un sensor de medición de PH, un sensor de medición de grados Brix en flujo, que conectados a un único panel de control, visibilicen los datos del comportamiento, y permitan regular aspectos de temperatura (presión), en la caldera del sistema. El principio de este sistema es un dispositivo en aleación de metal, que contenga una sonda de temperatura y PH, y un

sensor Inmec Modelo G2, el cual es un sensor de flujo a través de microondas digital es aplicable para sólidos disueltos y suspendidos en un rango de 0-95%. En este sentido, la simulación del dispositivo es algo similar a un “pequeño intercambiador de fluidos”

Figura 14. Diseño y Simulación de sensor tree



Fuente. Autor.

Por consiguiente, este Sensor tree estará articulado con el panel de control, para enviar en tiempo real, los datos de las variables que se miden y así el operario pueda tomar decisiones frente a los aditivos y elementos manuales de operación en la concentración del jarabe de caña.

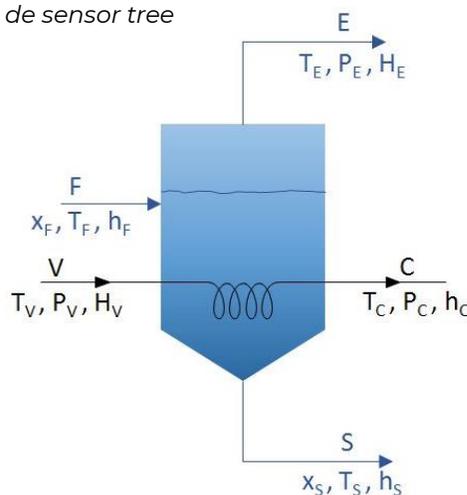
3.5.4. Necesidad No.3. Eficiencia térmica y regulación de vapores

Esta última situación de estudio, permite reconocer una de las principales falencias del proceso de evaporación de la Panela, y es la baja térmica en el proceso de concentración de las mieles, puesto que bajo una producción de 162 Litros de jarabe de caña que ingresan a una sola Tolva, aproximadamente 211 Kg, se alcanzan temperaturas de ebullición de 115°C, y el nivel de eficiencia térmica es mínimo, tan solo al observar que en un área de 1.2m² se realiza parte del proceso de evaporación del agua presente en el jarabe de caña, lo cual no garantiza un aprovechamiento térmico del fluido al estar abierto en esa misma área, por consiguiente es importante asumir que los fluidos se concentraran con mayor eficacia en tanto su presión interna aumenta y se permite un control de la temperatura, en este sentido el concepto de evaporación al vacío será el punto de referencia para esta solución, esto es una operación que garantiza la concentración de un fluido

mediante la eliminación del solvente por ebullición. En el caso de la evaporación del jarabe de caña, la ebullición normal está en los 105°C, pero bajo las condiciones de este tipo de evaporación, deberá ser inferior a razón de que el sistema tendrá una presión por debajo de la atmosférica, lo cual garantiza un ahorro energético. (Condorchem Envitech, 2021)

Por consiguiente, algunas ventajas de la implementación de los principios de la evaporación al vacío en esta propuesta de automatización, brindará una reducción drástica del volumen de residuo líquido, se podrá reutilizar el vapor emanado en el proceso. De allí que es necesario tener en cuenta parámetros del proceso como el área de intercambiador necesaria para la evaporación, para determinar dicha área se tuvo en cuenta el balance entre materia (162 Litros) y energía. En el caso específico del evaporador que se propone este recibirá una corriente F y dará paso a dos salidas (S,E), la primera de ellas una corriente (S) con el jarabe de caña concentrado y la segunda (E), con el vapor de salida

Figura 15. Diseño y Simulación de sensor tree



Fuente. (Condorchem Envitech, 2021)

Por consiguiente, para poder establecer, estos balances de materia y energía, es necesario primero calcular el balance de materia global(F), el cual está determinado como: $F = E + S$

donde el nivel de Vapor $V = C$ (Condensación), ahora será indispensable asumir el nivel de materia proveniente del soluto, el cual es equivalente al doble de la entrada de materia $F \times F = S \times S$, Finalmente, los balances de energía se establecen de acuerdo con volumen entrante en términos de la

Temperatura, la presión y la altura, es decir que el caudal de calor transmitido será proporcional a la diferencia del producto entre el volumen y su altura y el producto entre el calor específico, por tanto se asume:

$$V HV + F hF = C hC + E HE + S hS$$
$$Q = V HV - C hC = V (HV - hC) = U A \Delta T$$

Q: caudal de calor transmitido a través de la superficie de calefacción del evaporador.

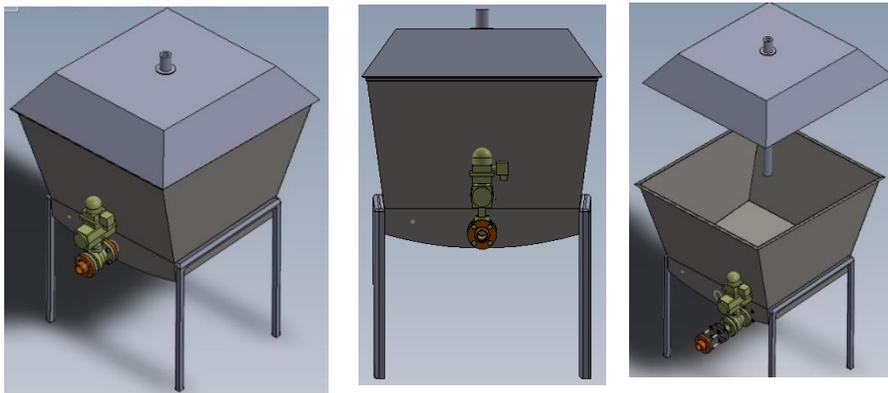
U: el coeficiente global de transferencia de calor.

A: el área necesaria para la evaporación

ΔT : la diferencia de temperaturas entre el agente calefactor y el líquido a evaporar

De acuerdo con estos criterios se ha asumido el siguiente diseño de simulación al interior de Solid Works:

Figura 16. *Diseño Propuesta de Automatización de Tolva de Evaporación*



Fuente. Autor.

Finalmente, en esta última etapa del diseño conceptual y en la consolidación de unos parámetros estándar para los procesos de automatización será necesario articular los rangos de ajuste de los diferentes dispositivos de sensorización que se integran a la propuesta, y para ello será necesario ejecutar la tercera etapa de la metodología de Pahl y Beitz, que implica definir los diseños a detalle de cada una de las piezas, etapa que será parte de una futura etapa de investigación, al cierre de este proceso se establecen los diseños conceptuales de las soluciones y se enuncian los aspectos claves susceptibles de automatización al interior de la tolva de evaporación.

Capítulo 4 – Conclusiones

La búsqueda de los procesos de Automatización en las pequeñas y medianas empresas son retos que condicionan el nivel de investigación y crecimiento de cualquier organización. Sin embargo, automatizar no es sinónimo de complejidad, sino al contrario es la puerta de entrada de cualquier organización al crecimiento y a la expansión en su sector. Hacer procesos de automatización en el sector agroindustrial colombiano, ¡eso sí es un reto!, las condiciones de crecimiento y desarrollo de las pequeñas y medianas empresas están condicionadas a economías familiares que buscan asegurar los mínimos productivos para sus clientes, y si miramos mas arriba las medianas empresas que están en las regiones, muestran limitaciones de inversión y rentabilidad a corto plazo.

Por tanto, el desarrollo de propuestas de investigación que apunten a fortalecer la mediana agroindustria colombiana se convierte en alternativas que visibilizan las necesidades de este sector, para emprender caminos de igualdad de derechos en el campo competitivo de mercado. Por tanto, los resultados de la presente investigación forman parte de ese tipo de alternativas que gracias a la investigación visibilizan las necesidades del sector panelero colombiano y propende por abrir una hoja de ruta para la mejora del sector en campos específicos de la evaporación, además se muestran diversas situaciones emergentes de la producción de la panela que darán lugar a futuras investigaciones.

4.1 Cumplimiento de objetivos del proyecto

En primer lugar, los resultados muestran que la investigación en el sector panelero es un área emergente que necesita de un mayor desarrollo de la investigación. De igual forma, los resultados concluyen que la calidad de la panela granulada está ligada a alcanzar niveles de azúcares reductores menores al 1.5%, y para lograrlo, fue necesario estandarizar variables del proceso que al ser contrastada con la experiencia garantizaron su validación, por tanto, azúcares reductores <1.5%, implican jarabes de Caña con grados °Brix entre 65.2 y 66.4, niveles de PH entre 4.56 y 5.7, temperaturas reguladas

de acuerdo al punto de ebullición y a la altura de la zona y tener presentes porcentajes de sedimentación <10%. Estos valores predeterminan entonces, la calibración y ajuste de futuros equipos o sistemas que se diseñen en el proceso de automatización.

Previo a la obtención de estos resultados la etapa de caracterización permitió identificar al detalle, la dependencia del conjunto de variables y el impacto de estas en el proceso productivo, así lo demostró el Value Stream Mapping, herramienta que evaluó el grado de valor del proceso y señaló las interacciones críticas de operación entre procesos, donde se resalta que la etapa de evaporación y/o concentración de las mieles representa un aporte de valor a la cadena productiva del 45%, de lo que se infiere que la mejora a este proceso garantiza mayor calidad en el producto final.

Finalmente, el proceso de automatización resultado de la investigación, evidencia que el uso de la metodología de diseño de Pahl y Beitz, fue la hoja de ruta que permitió identificar las necesidades de mejora y establecer la estructura conceptual de solución, en este sentido dando respuesta al cuestionamiento central de la investigación, la futura implementación de esta propuesta de mejora garantizara menores tiempos en el proceso de evaporación, mayor calidad en la producción de panela, con niveles cercanos al 1.5% de azúcares reductores y el control constante de variables como los °Brix, la temperatura y el PH de la mezcla.

b). Implicaciones teóricas y prácticas

Los resultados de este estudio tienen implicaciones importantes para el sector productivo panelero, ya que busca validar la importancia de la correlación de variables que originan la calidad de la panela, por ello definiendo y ratificando los parámetros del proceso de evaporación en aspectos comunes como los grados Brix, el PH, la Temperatura y el % de sedimentación. Algunas de las cuestiones que surgen de estos hallazgos son, en primer lugar, la importancia de que los futuros investigadores puedan identificar vacíos en los marcos conceptuales propuestos y explorar

las teorías que son necesarias para ampliar conocimientos sobre la mejora de los procesos de evaporación. En un segundo lugar será clave que las futuras investigaciones en el sector panelero se orienten a identificar necesidades de eficiencia en la producción de la panela y se orienten propuestas de mejora que tiendan articular procesos productivos estandarizados. Donde las variables del presente estudio sean el denominador común de sus indagaciones, puesto que son los criterios que permiten garantizar una mayor calidad en la producción panelera.

4.2 Aportes a líneas de investigación de grupo y a los Objetivos del Desarrollo Sostenible - ODS

En términos de las líneas de Investigación del GIGCIC, la línea de investigación definida fue la Gestión e Innovación Tecnológica Sustentable y de materiales, por lo tanto, los aporte claves a esta línea, es presentar una investigación que refleja los aspectos fundamentales en la consolidación de las etapas para una automatización industrial, pues se aporta el diseño metodológico e investigativo para configurar propuesta de automatización, de la mano de metodologías de diseño y simulación en automatización, sumado a las etapas metodológicas de investigación que garantizan la caracterización, modelación y análisis de datos en la consecución de un modelo de optimización y automatización industrial.

Finalmente, en lo que corresponde a los aportes realizados al ODS Industria, Innovación e Infraestructura y más específicamente en sus metas 9.5 - *Aumentar la investigación y actualizar las tecnologías industriales* y 9.A - *Facilitar el desarrollo de infraestructura sostenible*, se evidencian en la formulación de una propuesta de automatización que optimiza los recursos tecnológicos existentes, a un sistema de sensorización y control de las operaciones de evaporización, además se señala que las mejoras establecidas garantizan el uso racional de los recursos naturales para asegurar un mayor nivel de productividad en la fabricación de panela.

4.3 Producción asociada al proyecto

TIPO DE PRODUCTO	TITULO	EVENTO INSTITUCIÓN	CERTIFICADO
Ponencia	Automatización de los procesos Agroindustriales	Semana Internacional de Investigación Aplicada	SI
Ponencia	Variables que afectan la calidad de la panela procesada en el departamento de Cundinamarca	VII Congreso Internacional de Investigación en ingeniería - IBERO	SI
Consultoría	Estudio de Variables que afectan la calidad de la panela Pulverizada en la Central de Mieles (Utica-Cundinamarca)	ASPRUT	SI
Artículo	Propuesta de automatización de los procesos de producción de la Panela en Colombia	Sometido a evaluación en la revista Automatización y Montaje, en el marco del VII Congreso Internacional de Investigación de la Red Radar- Perú	SI
Ponencia	Propuesta de automatización de los procesos de producción de la Panela en Colombia	VII Congreso Internacional de Investigación de la Red Radar- Perú UPAL	SI

4.4 Líneas de trabajo futuras

La línea futura de trabajo en la presente investigación esta relacionada con la consolidación de un prototipo industrial que permita validar los niveles de sensorización, control y operación de la tolva de evaporación propuesta en los diseños sugeridos en la investigación.

Anexos

ANEXO 1. ACUERDO DE CONFIDENCIALIDAD

Nosotros, **JONNY RAFAEL PLAZAS Y NOFAL NAGLES GARCIA**, a cargo de la propuesta de investigación “**Propuesta de automatización del proceso productivo de evaporación para la fabricación de la panela, en la central de mieles del municipio de Utica (Cundinamarca)**”

Actualmente, el Grupo de investigación y gestión del Conocimiento en Ingeniería y Ciencias básicas GIGCIC asociado a la Facultad de Ingeniería de la Corporación Universitaria Iberoamericana, y el Tecnológico de México (ITESCAM), tiene avalado este proyecto.

Esta etapa se llevará a cabo a través de un conjunto de entrevistas las cuales están divididas en tres subtemas, la cual deberá ser desarrollada por la(s) persona(s) responsable(s) de ejecutar el proceso. A continuación, se describe los siguientes items a los cuales se compromete esta investigación:

- a) Tomar todas las medidas posibles para proteger la confidencialidad de la información que se reciba durante el diligenciamiento de las actividades que se realicen, y/o se maneje en el análisis de datos. Nada se hará que revele la identidad de alguien que esté o haya estado asociado con la propuesta. Esto significa que no se revelará a persona alguna información personal de identificación – ni verbalmente ni por escrito, amenos que:
 1. La/el participante en el estudio me instruya explícitamente que lo haga, o
 2. Que bajo la orden de una Elaboración propia judicial competente se me obligue a revelar información específica.
- b) No ingresar información alguna en el sistema de almacenamiento electrónico que pudiera ser de identificación personal, es decir, que la información de identificación personal debe ser removida o suprimida de la actividad.
- c) No registrar en la actividad información alguna que identifique a la persona entrevistada;
- d) Mantener la “llave de identificación” (Lista de contactos y códigos de las actividades) en un lugar seguro y guardada separadamente de las actividades. Se mantendrá la clave de seguridad o código de acceso para el equipo de cómputo y los archivos en un lugar seguro; y no se revelará esta información a persona alguna.
- e) Las copias de respaldo de los datos – ya sea en disco, dispositivos de almacenamiento electrónico o en una copia impresa – serán almacenadas en un lugar seguro.
- f) Cualquier información almacenada de manera electrónica estará protegida por un código de seguridad, al cual solamente se tenga acceso por parte de los investigadores a cargo;
- g) Para esta investigación los instrumentos de medición irán destinados a instituciones de educación superior IES, y su beneficio será ser incluidos en la socialización de resultados, ya que es un tema de interés a la comunidad académica.

Investigador: jonny.plazas@ibero.edu.co

Co-investigador: nofal.nagles@ibero.edu.co

Para efectos se anexa el siguiente correo en el caso que requieran consulta o ampliación de información o reclamación, correo: dir.investigacion@ibero.edu.co

CONSENTIMIENTO INFORMADO

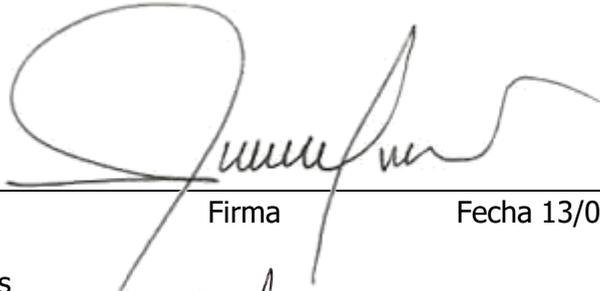
Consentimiento para participación en actividades y uso de producción DE INFORMACIÓN en el marco de la Investigación titulada **“Propuesta de automatización del proceso productivo de evaporación para la fabricación de la panela, en la central de mieles del municipio de Utica (Cundinamarca)”**

Yo, FREDY ALEXANDER BARRAGÁN SOTO con cédula de ciudadanía No. 80.278.626 doy miconsentimiento como colaborador de la Asociación de Productores Agropecuarios de Utica “ASPRUT”, para que los registros tomados y la información brindada, obtenidos de los procesos de investigación del proyecto en mención, para que esta información pueda ser utilizada solo con propósitos académicos y en el desarrollo del trabajo de Investigación para la Facultad de Ingeniería en el programa de Ingeniería Industrial modalidad virtual de la Universidad Iberoamericana, el cual selleva a cabo en la Institución; se espera que de este espacio de formación pueda generarseel respectivo informe de investigación.

Entiendo que mi decisión es voluntaria y que, si así lo considero, puedo decidir no permitir que dichos registros sean compartidos por medio alguno en cualquier momento sin dar ninguna razón y sin sufrir ninguna penalización. Puedo pedir que la información relacionada con mi familia sea regresada a mí o sea destruida.

Nombre y firma del Colaborador

Fredy Alexander Barragán Soto

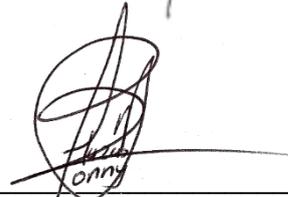


Firma

Fecha 13/05/2022

Nombre y firma de los Investigadores

Jonny Rafael Plazas Alvarado



Firma

Fecha13/05/2022

Nofal Nagles García



Firma

Fecha13/05/2022

Referencias

- Carl Benedikt, M. O. (2013). The Future of Employment . Oxford Martin School, 16-22.
- Condorchem Envitech. (12 de Agosto de 2021). Condorchem Envitech. Obtenido de Condorchem Envitech: <https://condorchem.com/es/>
- Departamento Nacional de Planeación. (2020). Encuesta Nacional Logística . Bogotá D.C.: Punto Aparte.
- Durán, J. I. (2014). Comportamiento agroindustrial de diez variedades de caña de azúcar. . 183-195: Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria.
- Erik Orozco-Crespo, N. S.-C.-P. (2018). Optimización de Recursos mediante Tecnología en Marcha, 146 - 164.
- Hari, M. P. (2015). Extension of the Pahl & Beitz Systematic Method for Conceptual Design of a New Product. Procedia CIRP, 254 - 260.
- Insuasty, O. M. (2013). Catálogo de variedades de caña para la producción de panela en la hoya del río Suárez. Barbosa, Santander, Colombia: Corpoica, Cimpa, Paippec.
- Keith Fuglie, M. G. (2020). Harvesting Prosperity Technology and Productivity Growth in Agriculture. International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank, 25.
- Lazaro, J. G. (2022). Design And Set Up Of A Pulverized Panela Machine. Periodicals of Engineering and Natural Sciences, 812 - 828.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural . (2021). Cadena Agroindustrial de la Panela . Bogotá D.C.: Minagricultura.
- Moreno, E. G. (1999). Automatización de procesos Industriales: Robótica y Automática . Editorial Universitat Politècnica de València, 44.
- Mucilage and cellulosic derivatives as clarifiers for the improvement of the non-centrifugal sugar production process. (2022). Food Chemistry, 23-29.
- Narvaez, H. (2002). Capacitación en obtención de nuevos productos derivados de la caña y el manejo adecuado de la agroindustria panelera, municipio de Mocoa. . Mocoa: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural - MADR -.
- Peña, R. P. (2019). Introducción a los modelos de Optimización. Bogotá D.C. : Universidad Piloto de Colombia. Seccional Alto Magdalena.
- Pineda-Sanchez, A., & Marcelo-Aldana, D. (2021). Mathematical modeling in a MATLAB environment for a triple effect evaporation system for the non-centrifugal

sugar production process. 2021 IEEE International Conference on Automation/XXIV Congress of the Chilean Association of Automatic Control (ICA-ACCA), 1 - 6.

Rodríguez Cediel, V. A. (2021). Determination of the cane honey point of panela under open evaporation in Colombia. *Visión electrónica. Revista Visión Electrónica*, 15(2), 104.

Rodríguez Zevallos, A. &. (2004). Panela granulada ecológica. 47-55 : *Revista Antenor Orrego*.

Sampieri, R. H. (2014). *Metodología de la Investigación*, Carlos Fernández Collado, María del Pilar Baptista Lucio. Mexico D.F.: Mc Graw Hill Education.