

**PROTOTIPO DE UN SISTEMA DE TELEMETRÍA COMO HERRAMIENTA
ALTERNATIVA BASADA EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LA
COMUNICACIÓN, PARA EL MONITOREO DE VARIABLES RELACIONADAS
CON EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE PANELA**

ÁNGEL RAÚL VERA RODRÍGUEZ

**UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA ELECTRÓNICA
FUSAGASUGÁ, COLOMBIA
2018**

**PROTOTIPO DE UN SISTEMA DE TELEMETRÍA COMO HERRAMIENTA
ALTERNATIVA BASADA EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LA
COMUNICACIÓN, PARA EL MONITOREO DE VARIABLES RELACIONADAS
CON EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE PANELA**

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR POR
EL TÍTULO DE (INGENIERO ELECTRÓNICO)**

ÁNGEL RAÚL VERA RODRÍGUEZ

DIRECTOR:

ING. CESAR AUGUSTO CASAS DÍAZ.

CO-DIRECTORES:

ING. LEONARDO RODRÍGUEZ MÚJICA.

ING. FAIDER HUMBERTO BARRERO S.

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN:

Diseño e instrumentación y control.

Transformación de energías

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA ELECTRÓNICA

FUSAGASUGÁ, COLOMBIA

2018

RESUMEN

En esta investigación se examinó el análisis y diseño de un sistema de telemetría para monitoreo de variables inmersas en el proceso de elaboración de panela, por medio de la traza del método, requerimientos, restricciones y pruebas. Se evidenciaron resultados relacionados con la producción y la calidad de la panela, el apoyo al sistema de telemetría por medio del uso de un refractómetro de mano, sugiere el futuro a la implementación de un laboratorio de cifras estadísticas en los trapiches paneleros, la componente de energías renovables generaron un impacto social directo en la comunidad beneficiada. Los datos analizados sugieren que es posible tecnificar el procedimiento de obtención de panela, mediante la información conseguida se podrá crear estrategias con el fin de aumentar dicha realización, lo que indefectiblemente se convierte en un camino en dirección a seguir investigando.

Palabras clave: índice de extracción, índice de producción, grados Brix, índice de madurez, telemetría, energías renovables, refractómetro, sensores.

INTRODUCCIÓN

La panela es un producto conocido por todos los colombianos, está arraigado a la cultura del país, tanto así que se cree propia, sin embargo la panela no es originaria de Colombia, su origen proviene del sureste asiático, países como India y Nigeria fueron los primeros en aprovechar las bondades de la caña de azúcar, materia prima de la panela, países como el Salvador, Cuba, Costa Rica, Brasil, Ecuador, México, Argentina, Bolivia, Colombia y Venezuela, entre muchos más, producen este producto de gran valor nutricional, denominado en otras culturas como piloncillo, panocha, canchaca, raspadura, rapadura. Este producto constituye en Colombia un alimento principal en la dieta de los colombianos y una fuente de ingresos primaria y primordial para los agricultores y artesanos que elaboran este producto. [1]

Sin embargo, la producción de panela se ha mantenido por varios años de forma rudimentaria y artesanal, debido al poco avance tecnológico y a las normativas que día a día se generan, intuitivas de procesos burocráticos. Esto relega la calidad de este producto a un punto menor [2], es importante demostrar que mediante la tecnificación del proceso de producción de panela y la aplicación de las normas vigentes de calidad, es posible mejorar los ingresos de las familias agricultoras y aumentar la producción y calidad de los procesos paneleros y por ende mejorar el bienestar de toda una comunidad.

En el presente trabajo se brindaron herramientas tecnológicas que permitirán mejorar el proceso de producción de panela en el trapiche San Jorge ubicado en el municipio de Útica, provincia del Gualivá, departamento de Cundinamarca, Colombia. En primera instancia la energía solar transformada en iluminación permitirá solucionar problemas debidos a los frecuentes cortes de energía proveniente por la red eléctrica común, generando apoyo en las jornadas largas, donde entrada la noche aún se realiza el proceso de producción de panela y disminuyendo costos en servicios públicos, diferentes tipos de sensores acoplados a un sistema de telemetría permitirán medir variables como, peso de bagazo, litros de jugo de caña, peso de jugo de caña, peso de caña de azúcar, peso de la panela, que en conjunto arrojan *índice de producción* e *índice de extracción* dos parámetros importantes que combinado con un detector de grados Brix (refractómetro), medida que permite observar la cantidad de solido disuelto en un líquido [3], genera información relevante para crear estrategias que aumenten la calidad y la producción de la molienda.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	3
INTRODUCCIÓN	4
TABLA DE CONTENIDO	5
ÍNDICE DE IMÁGENES	8
ÍNDICE DE TABLAS	10
1. EL PROBLEMA	11
1.1. Planteamiento del problema	11
1.2. Objetivos de la investigación	13
1.2.1. Objetivo general.....	13
1.2.2. Objetivos específicos	13
1.3. Justificación.....	13
1.4. Alcances y limitaciones	14
1.4.1. Alcances	14
1.4.2. Limitaciones.....	15
2. MARCO CONCEPTUAL	16
2.1. Del proceso de producción.....	16
2.1.1. Producción de panela	16
2.1.2. Plantación caña de azúcar.....	16
2.1.3. Extracción de jugo de caña de azúcar.....	17
2.1.4. Cocción del jugo de caña de azúcar	17
2.1.5. Moldeo después de la cocción.....	18
2.1.6. Empaque de la panela	19
2.2. Del proceso de tecnificación.....	19
2.2.1. Refractómetro	19
2.2.2. Arduino	20
2.2.3. Sensor de flujo-caudalímetro	20
2.2.4. Sensor infrarrojo	21
2.2.5. Báscula electrónica.....	21
2.2.6. Módulo SD	22
2.2.7. Módulo GSM.....	22
2.3. Glosario	23

2.3.1. Grados brix	23
2.3.2. Índice de extracción	23
2.3.3. Índice de producción.....	23
2.3.4. Caudal	23
2.3.5. Panela.....	23
2.3.6. Trapiche.....	24
2.3.7. Bagazo de caña.....	24
2.3.8. Energía solar.....	24
3. ESTADO DEL ARTE.....	25
3.1. Tecnologías en el proceso de producción de panela	25
3.2. Energías renovables en el proceso de producción de panela	30
3.3. Métodos alternativos de tecnificación.....	39
4. DISEÑO METODOLÓGICO	41
4.1. Diseño del sistema de telemetría	42
4.1.1. Análisis matemático para la identificación de variables	42
4.1.2. Requerimientos y restricciones del prototipo	45
4.2. Diseño del sistema de energía solar	54
4.2.1. Análisis matemático del sistema fotovoltaico	54
4.3. Parámetro de calidad y producción (refractómetro).....	60
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS	61
5.1. Primera prueba del prototipo de telemetría	61
5.2. Segunda prueba del prototipo de telemetría	63
5.3. Tercera prueba del prototipo de telemetría	65
5.4. Pruebas con el refractómetro	67
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	70
7. ANEXOS	71
7.1. Pruebas de Integración de la etapa de Instrumentación con el sistema de Adquisición de Datos DAQ, y el módulo de Comunicaciones	71
7.2. Verificación y validación del correcto funcionamiento del prototipo del módulo de transmisión de datos inalámbrico	71
7.3. Verificación y validación de la etapa de instrumentación y sistema de adquisición de datos (DAQ).....	73
7.3.1. Sensor de proximidad por infrarrojo E18-D8NK.....	73
7.3.2. Sensor medidor de flujo DN32 de 1.25 pulgadas.....	73

7.3.3. Báscula electrónica.....	74
7.4. Validación del software o algoritmo que permita la interacción con el modulo, toma de datos e implementación de la etapa para registro histórico de datos.....	75
7.5. Verificación y validación del prototipo completo de transmisión de datos inalámbrico.....	81
7.6. Instalación en el lugar de producción, según criterios dados por el productor y parámetros establecidos anteriormente. (TRAPICHE 1 UTICA)	81
7.7. Búsqueda de posibles fallas y solución de las mismas	82
7.8. Análisis de la eficiencia del módulo de comunicaciones a partir de la medición de parámetros de calidad del servicio (QoS)	83
7.9. Análisis de cargas del trapiche panelero, diseño e implementación del sistema fotovoltaico que alimente el prototipo y el sistema de iluminación en el trapiche.....	84
7.10. Análisis de la medición de grados Brix en el proceso previo al corte de la caña de azúcar.....	84
7.11. Realización y postulación de un artículo científico	86
REFERENCIAS	87

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Jugo de caña.....	17
Imagen 2. Cocción de jugo de caña.....	18
Imagen 3. Moldeo de dulce de caña.	18
Imagen 4. Almacenamiento.	19
Imagen 5. Refractómetro.	19
Imagen 6. Arduino Mega CH340.....	20
Imagen 7. Caudalímetro.....	20
Imagen 8. Sensor infrarrojo.....	21
Imagen 9. Báscula Electrónica.....	21
Imagen 10. Módulo micro SD.....	22
Imagen 11: Módulo GSM.	22
Imagen 12: Diagrama de bloques del esquema de control propuesto.	28
Imagen 13. Diagrama de esquemático original del proceso de clarificación.....	29
Imagen 14. Estrategia de control con accionamiento térmico.	29
Imagen 15. Estrategia de control mediante accionamiento eléctrico.	30
Imagen 16. Diseño de la red fotovoltaica.	31
Imagen 17. Diagrama de flujo del funcionamiento de la red fotovoltaica.	31
Imagen 18: Diagrama de flujo de la lógica en el funcionamiento de la conmutación de tipo de red eléctrica.....	32
Imagen 19. Sistema de información geográfica con valores de irradiación solar del municipio Mara.....	33
Imagen 20. Promedio mensual de irradiación solar global recibido en la ubicación de la vivienda.	34
Imagen 21. Calentador de la cafetería de la antigua Empresa de Energía de Bogotá (EEB). Construido en 1983 por el Centro Las Gaviotas (140 m ² de colectores, tanque de 12 000 litros) y desde entonces en operación. Estudios previos para la EEB por la Universidad Nacional de Colombia.	34
Imagen 22. Colectores solares del Hospital Pablo Tobón Uribe, Medellín, en operación desde mediados de los ochenta (240 m ² de colectores, tanque de 20 m ³ no visible).....	35
Imagen 23. Vista parcial de los 1 250 calentadores solares instalados por el Centro Las Gaviotas a mediados de los ochenta en Ciudad Salitre, Bogotá, urbanización del Banco Central Hipotecario.	35
Imagen 24. Sistema solar de 2.8 kWp instalado por el antiguo ICEL (Instituto Colombiano de Energía Eléctrica, hoy IPSE) en la Venturosa, Vichada, en 1996. Suministra energía a 120 V AC a una comunidad de 12 familias y centro escolar.	36
Imagen 25. Sistema fotovoltaico de 3.4 kWp del Oleoducto Caño Limón- Coveñas. En operación desde hace más de 20 años.	37
Imagen 26. Sistema de control de movimiento.	38
Imagen 27. Infraestructura del sistema completo.	38
Imagen 28. Esquema metodológico.....	41
Imagen 29. Caudalímetro instalado.	46

Imagen 30. Caudalímetro instalado (otra perspectiva).	46
Imagen 31. Taponamiento del Caudalímetro.	47
Imagen 32. Detector de objetos.	48
Imagen 33. Detector retirado por interferencias.	48
Imagen 34. Báscula en modificación.	49
Imagen 35. Componentes adicionados en la modificación de la báscula.	50
Imagen 36. Componentes acoplados dentro de la báscula.	50
Imagen 37. Pantalla.	51
Imagen 38. Módulo principal en pruebas.	53
Imagen 39. Diagrama de bloques del sistema de telemetría.	53
Imagen 40. Luminaria fotovoltaica en funcionamiento, en el trapiche san Jorge, Útica.	55
Imagen 41. Coordenadas y mapa satelital del trapiche san Jorge.	56
Imagen 42. Panel solar instalado en el trapiche de Quebrada-Negra.	57
Imagen 43. Batería instalada en el trapiche San Jorge, Útica.	58
Imagen 44. Inversor instalado en el trapiche de Guaduas.	59
Imagen 45. Regulador instalado en el trapiche de Guaduas.	59
Imagen 46. Visualización de los datos en el momento exacto de la prueba.	61
Imagen 47. Contenedor de jugo de caña en el momento exacto de la prueba.	62
Imagen 48. Visualización de los datos obtenidos en el momento de la prueba 2.	64
Imagen 49. Visualización con valores de peso de panela y producción.	64
Imagen 50. Índice de extracción de 4 trapiches, entre ellos el de interés, Útica.	66
Imagen 51. Visualización de resultados de la última prueba.	66
Imagen 52. Grados Brix jugo de caña, 4 muestras, prueba 1.	67
Imagen 53. Grados Brix jugo de caña, 4 muestras, prueba 2.	68
Imagen 54. Grados Brix jugo de caña, 4 muestras, prueba 3.	68
Imagen 55. Evidencia recepción SMS.	72
Imagen 56. Evidencia módulo de comunicaciones.	72
Imagen 57. Evidencia sensor de proximidad.	73
Imagen 58. Evidencia prueba de sensor de flujo.	74
Imagen 59. Evidencia prueba báscula electrónica.	74
Imagen 60. Evidencia prueba prototipo ensamblado.	81
Imagen 61. Diagrama de la ubicación de los sensores.	81
Imagen 62. Evidencia de taponamiento de sensor de flujo.	82
Imagen 63. Pruebas AT frecuencia.	83
Imagen 64. Pruebas AT intensidad.	83
Imagen 65. Pruebas AT cobertura.	84
Imagen 66. Evidencia uso de refractómetro para índice de maduración.	85
Imagen 67. Evidencia postulación de artículo científico.	86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Problemáticas identificadas.	12
Tabla 2. Actores que intervienen en la problemática.	12
Tabla 3: Datos de productos en la región Norte de Santander.	26
Tabla 4: Demanda de potencia en los molinos.	27
Tabla 5: Resultados de las pruebas de independencia lumínica.	32
Tabla 6. Potencial de la energía solar en Colombia, por regiones.	37
Tabla 7. Valores obtenidos con panel estático y en movimiento.....	39
Tabla 8. Radiación solar mes a mes, de la zona.	56
Tabla 9. Valores obtenidos por el prototipo en la primera prueba en campo.	62
Tabla 10. Valores obtenidos en la segunda prueba.	63
Tabla 11. Valores obtenidos de la última prueba del prototipo.	65
Tabla 12. Índice de extracción en pruebas del CIF.	65
Tabla 13. Relación grado Brix índice de extracción y pruebas realizadas.	69
Tabla 14. Problemas y soluciones en el sistema.	82
Tabla 15. Índice de madurez.....	84

1. EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

Útica es un municipio ubicado en el departamento de Cundinamarca, provincia del Gualivá (Colombia), la economía en este municipio se basa en la ganadería y la agricultura, la guayaba, zapote, papaya y producción de panela, se destaca también el ecoturismo y el turismo de aventura. [4]

Las autoridades municipales, colaboran con jornadas de capacitación para el campesino y productores, son horas perdidas ya que jamás ven un resultado evidente y un aporte físico con estas actividades que contribuyan a mejorar la calidad y la producción de panela. Además, esta tarea en comparación con las industrias azucareras, es netamente artesanal.

La producción de panela se da en explotaciones rurales campesinas de forma rudimentaria y artesanal, donde se requiere trabajo fuerte por parte de las familias campesinas, pero carece de tecnificación en todo el proceso, como apoyo a la producción de panela. Además, las ubicaciones de los trapiches paneleros son remotas y poco accesibles, de allí el uso de mulas para transportar la caña, el desconocimiento de parámetros de producción y calidad ínsita a molineras poco productivas [5]. Otro factor importante es el sistema de fluido eléctrico que presenta bastantes fallas en el sector, lo cual afecta directamente la producción en horas nocturnas.

La fabricación de panela empieza por el cultivo y cosecha de la caña de azúcar, seguido el apronte proceso donde la caña es apilada cerca al molino, la caña es molida para extraer el jugo utilizando un molino impulsado por un motor de combustión diésel, el bagazo es el residuo y el combustible de la hornilla, el jugo extraído se clarifica y cocina hasta llegar al punto del moldeo obteniendo panela, luego es empacada y almacenada [6]. En todo el proceso no existe tecnología electrónica que realice un monitoreo de cualquier parámetro y las medidas existentes son imprecisas ya que son hechas por seres humanos sin guardar un registro histórico. No medir las variables con un sistema electrónico tiene como consecuencia la desinformación histórica de la producción y sin información no es posible crear estrategias para aumentar la calidad y producción de panela, obteniendo molineras poco productivas. Por lo cual la pregunta problema será:

¿Cómo incluir, diseñar y adaptar medios tecnológicos y de energías renovables en el proceso de fabricación de panela?

En la Tabla 2. Se destacan los actores que intervienen en la problemática, su aporte y el impacto que generan, permitiendo obtener un panorama amplio de la adversidad y enfatizando los puntos que disminuyen la tecnificación en la fabricación de panela. Las problemáticas son identificadas en la Tabla 1.

Tabla 1. Problemáticas identificadas.

Problemáticas
Poca inversión en tecnificación del proceso de producción de panela.
Cortes de energía eléctrica prolongados.
Carencia de información estadística, que corrobore la información empírica del productor.
Asignación de recursos públicos y tecnológicos carentes en el proceso de producción de panela.
Infraestructura rudimentaria, no acorde a las normas actuales, en la generación de panela.
Capacitaciones sin impacto social en los directamente afectados los productores.

Fuente 1. Autor.

Tabla 2. Actores que intervienen en la problemática.

Actor	Entidad	Categoría	Impacto	Tipo de contribución a la solución
Ingenieros	Personas	Cooperante	Positiva (+)	Tecnificación de los procesos de producción de panela.
Estudiantes	Personas	Cooperante	Positiva (+)	Aporte en los trabajos de tecnificación.
Familias campesinas	Organización comunitaria	Afectados-beneficiarios	Indiferente (.)	Dedicación y esfuerzo brindando información necesaria para la solución del problema
Intermediarios	Empresa	Cooperante	Negativa(-)	Ninguna
Empleados públicos	Publica	Cooperante	Positiva (+)	Charlas educativas
Gobierno nacional	Publica	Cooperante	Indiferente (.)	Inversión en el campo agrícola
Gobierno municipal	Publica	Cooperante	Indiferente (.)	Inversión en el campo agrícola

Fuente 2. Autor.

1.2. Objetivos de la investigación

1.2.1. Objetivo general

Desarrollar un prototipo de un sistema de telemetría como herramienta alternativa basada en TIC, que permita monitorear variables relacionadas con el proceso de producción de panela.

1.2.2. Objetivos específicos

- Investigar el estado del arte respecto al proceso de producción de panela, e inclusión de tecnologías en dicho proceso.
- Diseñar un sistema de adquisición de datos para monitorear variables en el proceso de producción de panela.
- Diseñar un sistema de energía fotovoltaica brindando condiciones de iluminación en horas nocturnas.
- Realizar las pruebas del sistema de adquisición de datos y energía renovable, detectar errores y corregir.
- Implementar el sistema de energía renovable en el trapiche San Jorge (Útica, Cundinamarca).

1.3. Justificación

En Colombia los procesos agroindustriales generan cerca del 6.2 % del PIB (producto interno bruto) y en materia de exportaciones se ha presentado un incremento del 32.2 % en los últimos cinco años, además las precipitaciones en Colombia lo ubican como el cuarto país con recursos hídricos en el mundo, la diversidad de climas y extensas áreas para siembra, ganadería y en general agricultura, brindan condiciones excepcionales para el campo y su economía, [7] entre los productos agrícolas la panela tiene un papel fundamental en la agroindustria colombiana, tanto así que logra ubicarse como el segundo producto en consumo y producción después del café, tan solo el 69 % de los colombianos incluyen la panela en su dieta diaria, y es considerado un producto de la canasta familiar, según Fedepanela [8].

Por lo anterior se observa que, el campo de la tecnificación en el proceso panelero es una oportunidad inmejorable para investigar e implementar nuevas tecnologías en esta área, e indudablemente aportaría a mejorar la calidad del producto final, interviniendo varias de las etapas de elaboración y mejorando problemáticas presentadas en la comunidad. Como solución se plantea diseñar un sistema de

telemetría, que mediante diferentes sensores recopilen información de variables importantes en el proceso completo, como; litros de jugo de caña, peso de caña de azúcar, peso de la panela, peso del bagazo y peso de jugo que permiten obtener el **índice de producción** e **índice de extracción** y envíe estos parámetros fundamentales al productor primario o interesado [9]. Por otra parte, implementar la iluminación mediante energía solar, combatiendo así los posibles cortes continuos de energía proveniente de la red eléctrica, acudiendo a las buenas prácticas, protegiendo a los operarios de posibles accidentes laborales por falta de iluminación en horas nocturnas y/o entrada la madrugada.

Estas herramientas fácilmente se convertirán en la base de investigaciones posteriores, que aporten en la Universidad de Cundinamarca, Pilares fundamentales para desarrollar nuevos sistemas de medición y que con el perfeccionamiento y trabajo constante de investigadores y auxiliares investigativos, evolucione en herramientas poderosas, siendo este un trabajo en conjunto por generaciones de docentes y estudiantes, construyendo una de las bases para el reconocimiento de toda universidad y la finalidad de toda universidad, la investigación y la generación de nuevo conocimiento.

1.4. Alcances y limitaciones

Siempre es prudente tener objetividad, saber hasta dónde se puede llegar y limitar algunos aspectos, puede convertirse en los parámetros que permitan desarrollar una investigación satisfactoria. Se presenta en este ítem los alcances y limitaciones de esta investigación.

1.4.1. Alcances

Al desarrollar y manipular los dispositivos que permitan medir variables físicas como; sólidos solubles, litros de jugo de caña, peso de caña de azúcar, peso de la panela, peso del bagazo y peso de jugo, que permiten obtener el **índice de producción** e **índice de extracción**, para asegurar las buenas prácticas en el proceso de producción panelera, se pretende brindar una introducción a la tecnificación del proceso panelero en Colombia, abriendo así un campo de acción poco explorado pero con gran potencial, estos datos recopilados mediante distintos sensores son enviados directamente al productor principal, e interesado en saber del proceso a distancia mediante comunicación SMS.

Por otra parte, la energía solar fotovoltaica se aplicará en el proceso mediante la instalación de iluminación que supla la necesidad de abaratar costos en recibos públicos y ser el apoyo a posibles cortes de energía, permitiendo así que tanto en horas de la madrugada y entrada la noche, donde prevalece la oscuridad permita un ambiente de trabajo seguro y productivo.

Este trabajo pretende dar a conocer la línea de investigación como una opción de proyecto de grado fuerte, tanto para estudiantes como para directivos al postular la

investigación como herramienta de reconocimiento para la Universidad de Cundinamarca.

1.4.2. Limitaciones

Debido a que medir variables físicas dentro del proceso de producción panelera es invasivo, el prototipo será de prueba, implementarlo no será posible hasta tanto los elementos que lo componen sean industriales de alta durabilidad y calidad, lo que requiere una mayor inversión presupuestal. Además, la ubicación del trapiche es de difícil acceso, por ende, los datos recopilados en las pruebas realizadas no son abundantes, pero si concluyentes, la gran limitación es la falta de inversión.

2. MARCO CONCEPTUAL

El desarrollo de la investigación estuvo enmarcado en diseñar un prototipo que permitió realizar pruebas en el proceso de producción de panela. Para lograr esta tarea es necesario realizar la conceptualización de dos elementos fundamentales, el primero tiene que ver con el proceso de producción de panela, desde su cosecha pasando por etapas de molienda y reducción de jugos, hasta obtener el producto final, la panela, el segundo sobre los elementos que permitirán explorar la tecnificación del proceso de producción. En este capítulo se afianzaron los conceptos de ambos elementos correlacionados.

2.1. Del proceso de producción

2.1.1. Producción de panela

Originaria del sureste asiático, pero profundamente arraigada en América Latina, extendida y fabricada por países como India, México, Cuba, Brasil, Filipinas, entre otros, y conocida la panela por diversos nombres como piloncillo, raspadura, atado dulce, tapa dulce, chancaca, empanizado, papelón o panocha, entre otros [10], constituye parte fundamental de la historia en diversos países y fundamentalmente en Colombia, centrando su pasado en regímenes de esclavitud en la época de colonización, conociendo así en los siglos **XVI XVII** y **XVIII**, la primera plantación de caña de azúcar que data del año 1519 en el Urabá chocoano [11]. Este derivado de la caña de azúcar es de alta demanda actualmente en todo el territorio colombiano. Una de las falencias en la producción de panela es el bajo nivel tecnológico ya que por siglos ha sido rudimentaria la elaboración de este producto, encontrando que la introducción de tecnologías al proceso panelero podría mejorar la calidad y el rendimiento del proceso, generando así una mayor ganancia por la venta del producto y mejorando las condiciones de las familias productoras de panela.

La panela es un alimento elaborado con un único ingrediente la caña de azúcar, siempre es dividido en varios procesos:

2.1.2. Plantación caña de azúcar

La materia prima para la elaboración de panela se da con el cultivo de la caña de azúcar, especie de planta perteneciente a las poaceas, crecen alrededor de 3 a 5 m de altura con grosores de 2 a 5 cm, proveniente del sureste asiático y Nueva Guinea, que con la expansión del imperio musulmán llegó a Europa, luego de ser arraigada en Europa fue introducida en América, cultivándose en países como el Salvador, Cuba, Honduras, Brasil, México, Argentina, Bolivia, Perú, Ecuador, República Dominicana, Colombia y Venezuela.

2.1.3. Extracción de jugo de caña de azúcar

La extracción del jugo de caña de azúcar se obtiene a través del proceso denominado molienda, después del corte de caña o cosecha, la caña de azúcar pasa por una maquina capaz de ejercer presión, proceso de nominado molienda de caña, esta puede ser eléctrica o a combustión de gasolina, que al exprimir la caña libera los jugos que contiene, este proceso debe ser repetitivo hasta obtener la máxima cantidad de jugo de caña de azúcar ya que la planta desde el primer trapichado o primera molienda, presenta características porosas que reabsorben el líquido. El resultante de la caña es denominado bagazo de caña.

Imagen 1. Jugo de caña.



Fuente 3. Autor.

2.1.4. Cocción del jugo de caña de azúcar

Seguido a la extracción del jugo de caña de azúcar mediante el trapichado, se realiza la cocción a altas temperaturas del líquido, cabe resaltar que, el bagazo de caña resultante es reutilizado como combustible para los hornos donde se realiza la cocción del jugo de caña de azúcar, el proceso de evaporación condensa los principales nutrientes de este jugo de caña, hasta obtener una melaza viscosa y de buena calidad. El conocimiento empírico del operario detecta el punto exacto de viscosidad mediante inspección visual y olfativa.

Imagen 2. Cocción de jugo de caña.



Fuente 4. Autor.

2.1.5. Moldeo después de la cocción

Obtenida la sustancia densa proveniente de la cocción del jugo de caña de azúcar, se procede al moldeo, proceso por el cual el elemento obtenido es esparcido en moldes dependiendo de la geometría a obtener, generalmente es un prisma rectangular o un casquete esférico, denominado panela, moldeado se deja secar a temperatura ambiente hasta obtener la solidificación de la sustancia.

Imagen 3. Moldeo de dulce de caña.



Fuente 5. Autor.

2.1.6. Empaque de la panela

Después de retirar la panela de los moldes, se procede a empacar de acuerdo al requerimiento, generalmente se denomina cargas o atados, en cada carga se empacan 40 panelas de 1 libra de peso cada una.

Imagen 4. Almacenamiento.



Fuente 6. Autor.

2.2. Del proceso de tecnificación

2.2.1. Refractómetro

Los refractómetros son equipos que trabajan bajo el principio de refracción, estos equipos son utilizados para la medición de sólidos solubles, es decir una sustancia disuelta en un líquido, generalmente se denomina grado Brix a la medida obtenida. En la Imagen 5. Se puede apreciar este dispositivo.

Imagen 5. Refractómetro.



Fuente 7. Autor.

2.2.2. Arduino

Es una placa con un microcontrolador programable, con entradas y salidas, analógicas y digitales, esta tarjeta es programada en un entorno de desarrollo que utiliza el lenguaje Processing/Wiring. esta Shield se comunica mediante puerto serial con el PC, permitiendo que sea reprogramable a la necesidad del usuario, utilizada en proyectos de electrónica en sus diferentes ramas, robótica, automatización, biomédica, etc. [12].

Imagen 6. Arduino Mega CH340.



Fuente 8. Autor.

2.2.3. Sensor de flujo-caudalímetro

Un sensor de flujo es un dispositivo que colocado en un conducto o corriente mide el caudal del fluido circulante, existen varios tipos como de ruedas ovaladas, de turbina, ultrasónicos, electromagnéticos y térmicos [13].

Imagen 7. Caudalímetro.



Fuente 9. Autor.

2.2.4. Sensor infrarrojo

Un sensor infrarrojo es un elemento que establece una comunicación entre dos dispositivos, sin embargo, es más utilizado como detector de objetos, el principio de comunicación inalámbrica se basa en la emisión y recepción de una luz infrarroja modulada en una frecuencia establecida [14].

Imagen 8. Sensor infrarrojo.



Fuente 10. Autor.

2.2.5. Báscula electrónica

Una báscula se utiliza para realizar la medición de masa de un objeto a esta medición se le denomina “pesar”. La báscula electrónica permite obtener la medición de forma digital siendo precisa, estas básculas se componen generalmente de un receptor de carga o plataforma, celdas de carga o sensores, tarjeta de unión de celdas (cuando hay más de una celda de carga), indicador digital de peso, algunas adicionan dispositivos periféricos.

Imagen 9. Báscula Electrónica.



Fuente 11. Autor.

2.2.6. Módulo SD

Módulo que permite introducir una memoria SD y guardar los datos obtenidos del sistema, en el mundo Arduino es común su uso y es de fácil adaptación solo hay que conectar los pines indicados, alimentación a 3.3 V, para su funcionamiento [15].

Imagen 10. Módulo micro SD.



Fuente 12. Autor.

2.2.7. Módulo GSM

Módulo que permite utilizar en la plataforma Arduino, las comunicaciones de forma remota con el usuario, a través de la red GSM (Global System For Global Communication), lo que lo convierte en un teléfono móvil acoplado a un prototipo. Permite enviar y recibir mensajes de texto, recibir y realizar llamadas telefónicas e incluso acceder a la red GPRS que permite la transmisión de datos [16].

Imagen 11: Módulo GSM.



Fuente 13. Autor.

2.3. Glosario

2.3.1. Grados brix

Escala de medida para sólidos solubles, utilizado en gran parte de la agroindustria para la detección de azúcares en diversos frutos, también utilizado en grandes industrias mecánicas para la detección de componentes especiales disueltos en líquidos, en muchos casos para refrigerantes de motores y sistemas de enfriamiento de maquinarias.

2.3.2. Índice de extracción

Parámetro importante utilizado en el proceso de producción de panela que indica en porcentaje el estado favorable o desfavorable de cada molienda, permitiendo a los productores tomar medidas en pro al aumento de la producción.

2.3.3. Índice de producción

Parámetro representado en una relación de 10 a 1 que indica el nivel óptimo de producto final frente a la caña sin procesar, dicha relación se da por cada tonelada de caña de azúcar.

2.3.4. Caudal

En dinámica de fluidos caudal es el volumen de un líquido o gas que pasa por un contenedor durante una cantidad de tiempo, representado con la letra Q y sus unidades de medida son los metros cúbicos por segundo $\left(\frac{m^3}{s}\right)$ [17].

2.3.5. Panela

También conocida como piloncillo, raspadura, rapadura, atado dulce, panetela, tapa de dulce, chancaca (del náhuatl Chancaca, 'azúcar integral' o del quechua Chamgay, 'triturar'), agua dulce, empanizado, papelón, o panocha en diferentes latitudes del idioma español, es un alimento cuyo único ingrediente es el jugo de la caña de azúcar que es secado antes de pasar por el proceso de purificación que lo convierte en azúcar moreno (o mascabado). Para producir la panela, el jugo de caña de azúcar es cocido a altas temperaturas hasta formar una melaza bastante densa, luego se pasa a unos moldes en forma de prisma donde se deja secar hasta que se solidifica o cuaja.

2.3.6. Trapiche

Es una máquina que extrae el jugo de la caña de azúcar, moliéndola. se utilizan tres rodillos, que prensan la caña extrayendo el 75% del contenido de agua al jugo para depositarlos en las calderas para cocinarlos.

2.3.7. Bagazo de caña

Es el residuo de materia después de extraídos sus jugos, en el caso de la caña de azúcar después de la molienda dicho bagazo se reutiliza como combustible para el horno que realiza la cocción del jugo de caña de azúcar.

2.3.8. Energía solar

Energía renovable proveniente de la radiación electromagnética que emite el sol, esta radiación es aprovechada y convertida en energías eléctricas mediante captadoras fotovoltaicas, denominados paneles solares, esta energía se da cuando un fotón golpea dicha superficie y desprende electrones, generando una corriente eléctrica, siendo posible almacenarla en baterías para su aplicación en diferentes campos.

3. ESTADO DEL ARTE

En este capítulo se muestra como el proceso de tecnificación en la producción de panela ha tenido lugar en Colombia y otros países latinoamericanos. Además, introduce el componente de energías renovables al referirnos a las aplicaciones realizadas por otros estudios y permite revisar métodos alternativos no electrónicos para tecnificar el agro.

3.1. Tecnologías en el proceso de producción de panela

La industria de la panela es el segundo fuerte de producción agrícola en Colombia después del café, con un área de cultivo de caña de azúcar de 241.794 hectáreas y una cobertura en 27 departamentos, 511 municipios del país, también se cuenta con alrededor de 20.000 trapiches a lo largo del país, sin embargo su producción es en su mayor parte familiar y campesina, donde participan 350.000 familias y generan alrededor de 855.365 empleos directos e indirectos, [18] Donde el procesamiento de este alimento se genera con técnicas artesanales, lo convierte en un campo donde la tecnología no ha tenido relevancia en este proceso, esto sin duda alguna es un escenario donde las oportunidades abundan para generar e insertar la tecnología al proceso panelero.

Es prescindible afrontar un tema aún más amplio, que conlleva con la tecnificación del proceso de producción panelera, esta tecnificación no solo se deriva en acondicionamiento electrónico o eléctrico, incluyendo lo anterior, amplía las ramas del conocimiento a la organización de los procesos. Ya que este trabajo centra sus investigaciones y aplicaciones en el municipio de Útica Cundinamarca Colombia, se presenta en paralelo con el postulado por Jorge de Jesús Cañizares Arévalo (2015) y su artículo *tecnificación de la agroindustria panelera: alternativa de empleabilidad de ingresos en convención*. N. de S. quien propone la tecnificación del proceso de producción panelera en 10 trapiches de la población como catalizador de una mejora en la economía regional y en la calidad del producto, consecuencias adversas que se han presentado por factores como el abandono del gobierno, el dinero fácil, la producción rudimentaria de panela y los cultivos ilícitos, pretendiendo así mitigar temas como la violencia, brindando una mejoría en el bienestar de dicha comunidad. Se planea la tecnificación del proceso de producción panelera mejorando los ingresos de los convencionistas, bajo un proyecto establecido por las Naciones Unidas, en primera instancia se eligieron los grupos de trabajo que mediante capacitaciones y talleres comunican las estrategias a utilizar para lograr la tecnificación de dicho proceso, en la segunda etapa se recopiló la información mediante el mapeo de actores, cartografía del sitio y elaboración de informes, en tercera instancia se analizó y validó la información recopilada. Resultado importante es la detección de ganar dinero fácil mediante cultivos ilícitos, lo cual genera violencia entre familias campesinas y abandono de cultivos legales.

Tabla 3: Datos de productos en la región Norte de Santander.

Producto	Hectáreas	Producción	Rendimiento Pro/hec
Bovino	9360	6760*	0.7
Café	3079	1917	1.1
Caña trad	2004	12024	4
Plátano int	580	4728	2320
Cacao trad	534	374	0.5
Cacao tec	150	120	0
Maíz trad	100	120	1.2
Piña	97	3880	40
Cítricos	46	460	10
Frijol trad	40	36	0.9
Tomate	20	440	22
*Se contabiliza como cabezas de ganado			

Fuente 14. J. d. J. Cañizares Arévalo, *tecnificación de la agroindustria panelera: alternativa de empleabilidad de ingresos en convención N de S.*

En la Tabla 3. Los datos estadísticos de los diferentes productos agrícolas de la región, dando con 12024 toneladas de caña, que debido al proceso y número de producción es catalogado como manufactura, una de las principales actividades económicas en la región es la producción de panela [19].

En el proceso de tecnificación de la molienda de caña se ha avanzado en varios aspectos, el primero consiste en reajustar la presión hidráulica en los molinos de caña para disminuir el consumo de potencia sin afectar el rendimiento del proceso, permitiendo así el ahorro en consumo de energía, el segundo consiste en la simulación de un sistema de control que permita aumentar la eficiencia de producción mediante nivelación de la entrada de caña al molino, el tercero incluir en el proceso de control la minimización de perturbaciones mediante un proceso de diseño mecánico en las sulfitadoras de jugo de caña, el cuarto consiste en generar controladores en cascada que permitan suavizar las curvas de respuesta de los motores optimizando su operación y generando un rendimiento mayor con menos costo de energía en los motores de los molinos.

Sin duda alguna la disminución del consumo de energía representa una mayor eficiencia y por tanto un ahorro en gastos de energía, esto puede ser posible variando los niveles de presión en los molinos de caña de azúcar permitiendo así, utilizar la lixiviación- compresión y no solo la extracción de dichos jugos, el proceso pasa por varios molinos de caña que realizan tareas distintas como; exprimir en

seco el jugo de caña y después de exprimido repetir el proceso con el bagazo que por su porosidad reabsorbe una cantidad considerable del jugo de caña de azúcar, para por último generar el proceso de lixiviación y así transformar gran parte del bagazo en azúcares y jugos que cumplan con las especificaciones de la productora, para lo cual se generan ajustes en el proceso permitiendo disminuir la presión hidráulica de los molinos, generando así un ahorro de energía al consumir menos potencia en los motores. A través de modelos estocásticos se determinó un bloque de muestras que en conjunto generó una muestra general, desde la entrada de la caña en el primer molino hasta la salida del bagazo en el último, modificando los intervalos de tiempo y la presión hidráulica de los molinos, con el fin de mejorar el proceso de extracción de jugo de caña de azúcar sin disminuir la producción, disminuyendo el consumo de potencia de los motores para generar el ahorro de energía [20].

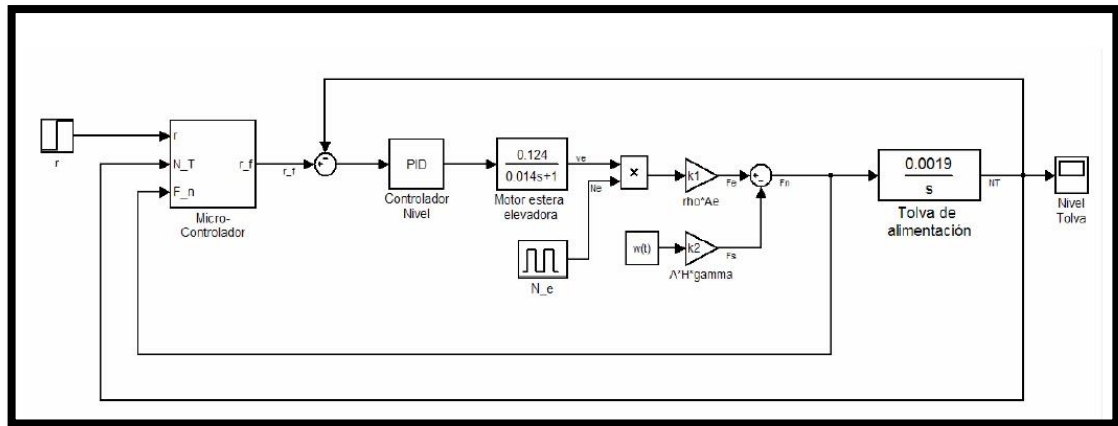
Tabla 4: Demanda de potencia en los molinos.

Demanda de potencia en, kW				
Molinos	Tándem 1		Tándem 2	
	De trabajo	Experimentales	De trabajo	Experimentales
Molino 1	564.27	564.27	341.76	341.76
Molino 2	467.84	382.24	559.99	494.43
Molino 3	435.41	349.72	538.44	475.54
Molino 4	425.86	342.16	619.42	545.61
Molino 5	458.83	375.00	590.57	525.44
Molino 6	487.10	487.10	622.89	622.89
Total	2833.31	2500.41	3273.07	3005.68
Diferencia	332.9		267.39	

Fuente 15. J. M. Corrales Suárez, J. M. Gil Ortiz, P. D. Remedios Castañeiras, Y. Masjuan Leyva y J. A. Gil Ceballos, Operación de los molinos del tándem cañero a dos niveles de presión hidráulica.

Sin embargo, el ajuste de los molinos por presión hidráulica no es el único método posible para mejorar el proceso de extracción de jugo de caña de azúcar, para lo cual existe el proceso electrónico del control análogo en los molinos, proceso que se llevó a cabo de manera simulada con un controlador PID.

Imagen 12: Diagrama de bloques del esquema de control propuesto.



Fuente 16. F. Garelli, M. Ramírez, A. Domínguez y M. Angulo, Simulación de un algoritmo para controlar el nivel en tolva ante alimentación discontinua de caña.

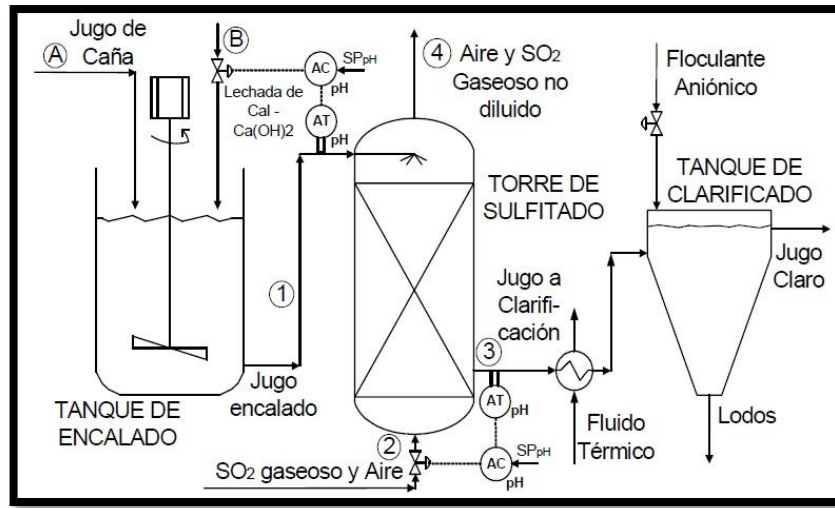
En la Imagen 12. Se aprecia un lazo principal de control PID y la realimentación de variables distintas dirigidas a un micro controlador y la fluctuación de caña actúa como una fuerte perturbación multiplicativa en el sistema. Como sistema es posible mejorar las condiciones de los motores de los molinos de cañas de azúcar permitiendo así aplicar técnicas de control análogo y digital para aumentar la eficiencia del proceso y disminuir la demanda de electricidad en el proceso mejorando los procesos y la producción en general [21].

Para este proceso se genera un modelo del motor del molino, representando el accionamiento mediante la siguiente función de transferencia:

$$M_s = \frac{0.124}{0.014s + 1} \quad (1)$$

Solo es mencionado el proceso de control como parte fundamental del proceso de variables en un planta, sin embargo fusionar el proceso de control análogo electrónico con un proceso de modelo dinámico, con el fin de reducir mediante un buen diseño y montaje de las torres sulfitoras de jugo de caña de azúcar, las posibles perturbaciones que puedan entrar al proceso de control y la planta, al minimizar estos factores la combinación de estos diseños permiten generar un control más económico eficiencia de la extracción de los componentes de la caña. Se crean dos modelos uno dinámico y uno de control:

Imagen 13. Diagrama de esquemático original del proceso de clarificación.

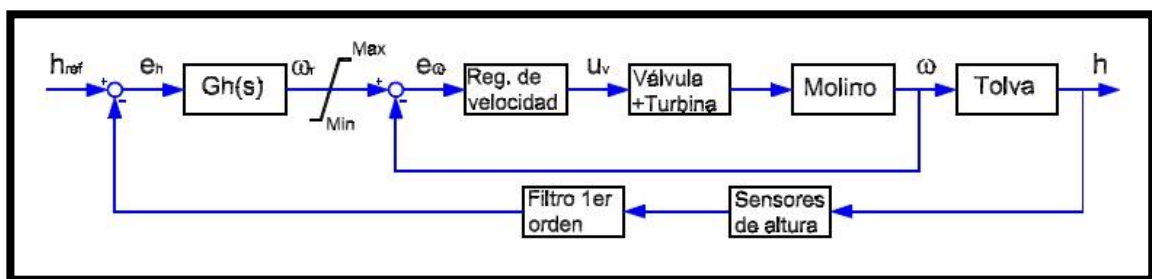


Fuente 17. R. Lamanna, P. Vega, S. Revollar y H. Álvarez, *Diseño Simultáneo de Proceso y Control de una Torre Sulfitadoras de Jugo de caña de azúcar.*

En el proceso de control en este caso una válvula que regula el flujo de gas en la sulfitadoras de jugo de caña requiere que no se sature, mediante un sensor de pH que mide varios estados en donde la concentración de elementos agregados al proceso sea la adecuada para permitir el control. [22]

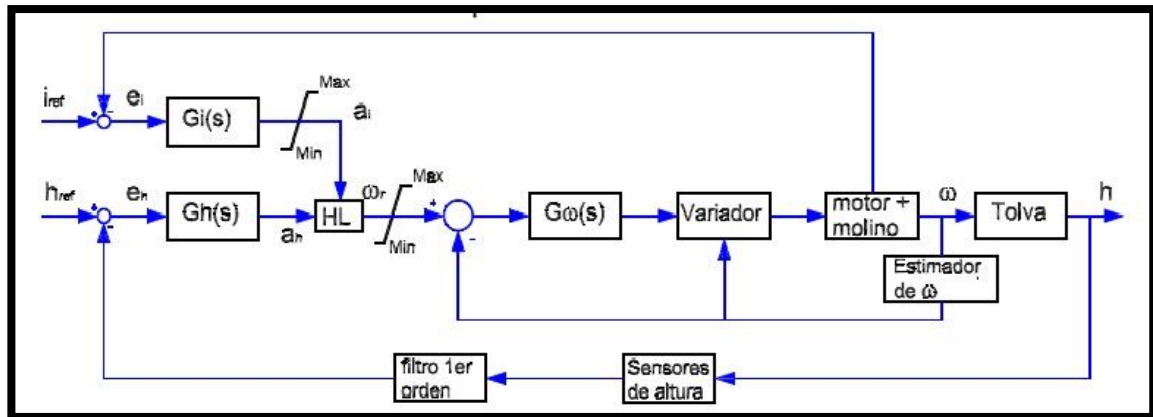
En cuanto al diseño de controladores para optimizar el proceso de extracción de jugo de caña se presenta un modelo de control mediante accionamiento eléctrico, el control se puede lograr limitando la velocidad y la corriente de entrada a los motores de los molinos con el fin de economizar el uso de energía aprovechando al máximo la producción, y nivelar el volumen de entrada de caña mediante el control de la vibración de la bandeja de entrada, para obtener un flujo casi continuo de volumen de caña logrando así no esforzar los motores de los molinos. Los molinos son regulados variando la velocidad angular

Imagen 14. Estrategia de control con accionamiento térmico.



Fuente 18. J. R. y E. R., *Modelado y Control de Molinos de Caña de azúcar usando accionamientos eléctricos.*

Imagen 15. Estrategia de control mediante accionamiento eléctrico.



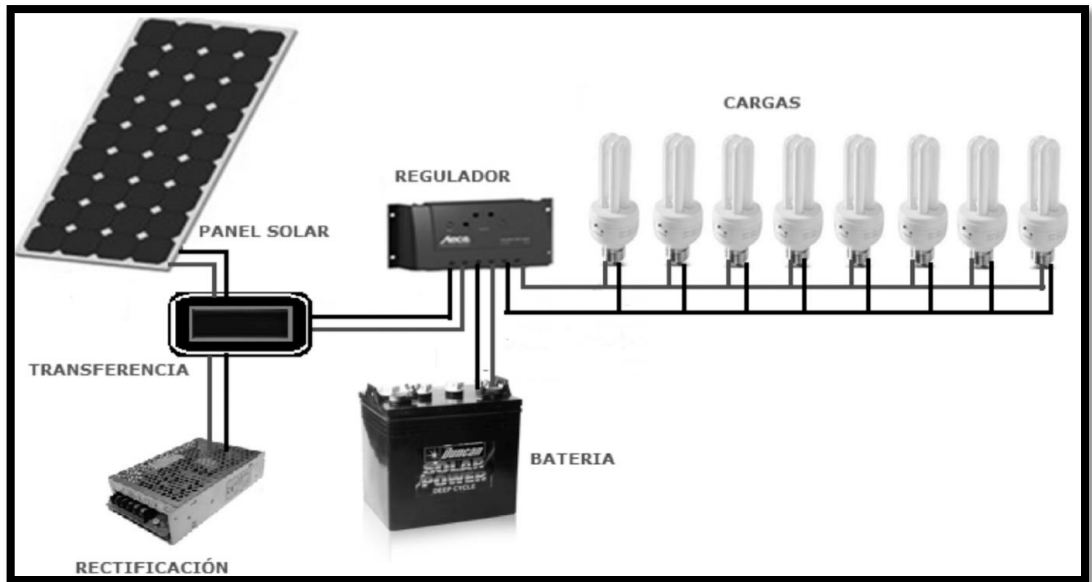
Fuente 19. J. R. y E. R., Modelado y Control de Molinos de Caña de azúcar usando accionamientos eléctricos.

Controlador de acción PI que toma los niveles de corriente para regular la velocidad de los motores, en este caso no se usa sensor de velocidad los datos son tomados de la corriente inducida en los motores obteniendo así el dato del par de arranque del motor y su respectiva velocidad. Se obtiene en simulaciones los resultados de los datos de velocidad, par, velocidad angular, corriente y altura de la tolva, permitiendo suavizar las señales y por ende el trabajo del motor. [23]

3.2. Energías renovables en el proceso de producción de panela

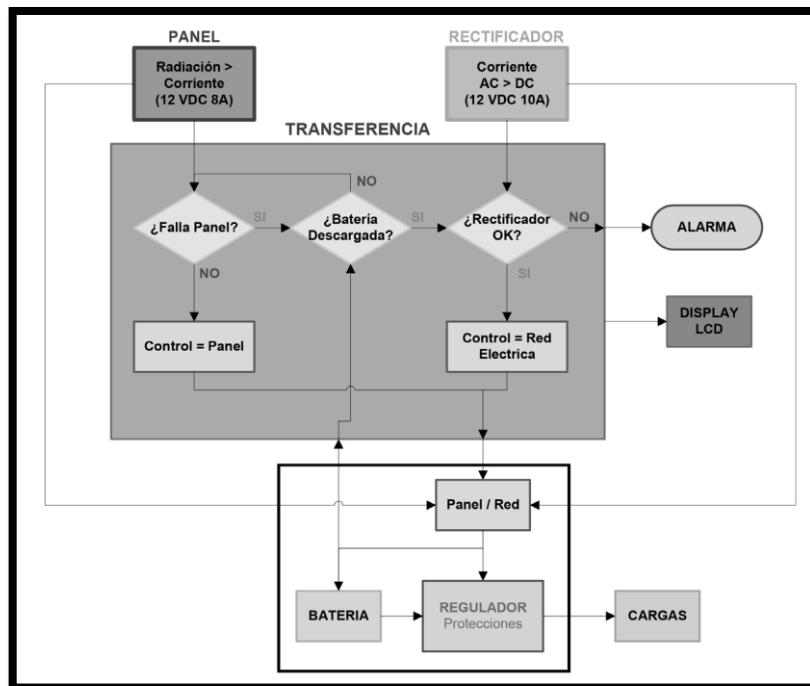
Sin duda alguna una de las mejoras que se pueden implementar es la generación de electricidad en base a una energía alternativa, en este caso la energía solar. Según Juan Carlos Cruz Ardila (2013) en su trabajo **aplicación electrónica para el ahorro de energía eléctrica utilizando una energía alternativa** comprueba que es posible generar una disminución del consumo de energía eléctrica entregada por las compañías que proveen este servicio, mediante el aprovechamiento de energía solar fotovoltaica DC, evitando la utilización de un inversor de voltaje que implica un alto costo en la transformación de esta energía. Implementando cinco etapas fundamentación, desarrollo, ejecución, implementación y resultados, donde se realizó la consulta de trabajos e investigaciones, determinación de materiales y equipos de acuerdo a las investigaciones consultadas, pruebas y ajustes necesarios a la aplicación electrónica, montaje y adecuación de la aplicación en un tablero didáctico y recopilación de resultados para la elaboración del diseño final.

Imagen 16. Diseño de la red fotovoltaica.



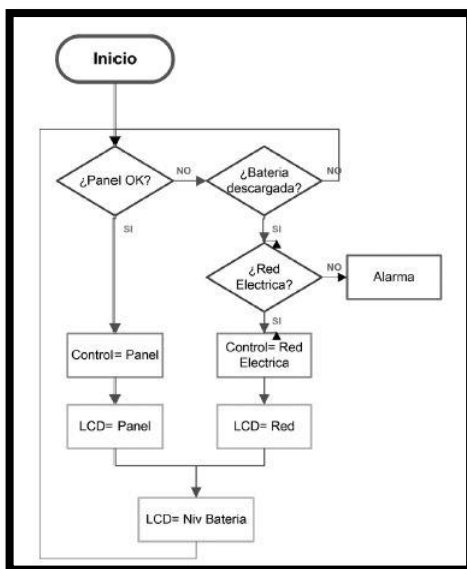
Fuente 20. J. C. Cruz Ardila, J. C. Cardona Gómez y D. M. Hernández Porras. Aplicación electrónica para el ahorro de energía eléctrica utilizando una energía alternativa.

Imagen 17. Diagrama de flujo del funcionamiento de la red fotovoltaica.



Fuente 21. J. C. Cruz Ardila, J. C. Cardona Gómez y D. M. Hernández Porras. Aplicación electrónica para el ahorro de energía eléctrica utilizando una energía alternativa.

Imagen 18: Diagrama de flujo de la lógica en el funcionamiento de la conmutación de tipo de red eléctrica.



Fuente 22. J. C. Cruz Ardila, J. C. Cardona Gómez y D. M. Hernández Porras. Aplicación electrónica para el ahorro de energía eléctrica utilizando una energía alternativa.

Según los resultados obtenidos se evidencia un análisis de corriente consumida versus horas de servicio de las baterías, cabe resaltar que la corriente demandada aumenta de acuerdo a un número mayor de focos, los datos son presentados en la Tabla 5.

Tabla 5: Resultados de las pruebas de independencia lumínica.

Luminarias encendidas	Consumo de corriente	Duración de batería
8	4.72 Ah	30 horas
6	3.56 Ah	45 horas
4	2.35 Ah	58 horas

Fuente 23. J. C. Cruz Ardila, J. C. Cardona Gómez y D. M. Hernández Porras. Aplicación electrónica para el ahorro de energía eléctrica utilizando una energía alternativa.

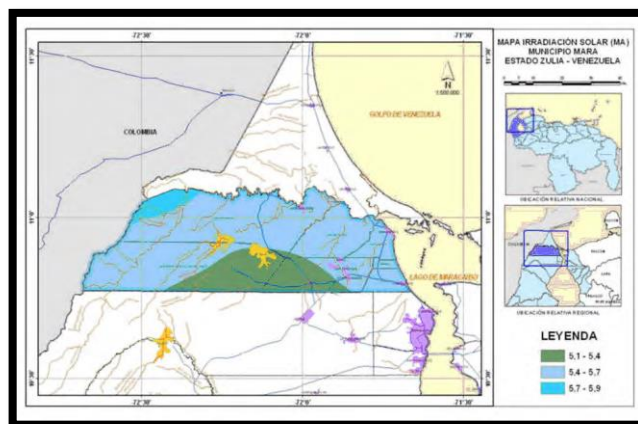
Siendo 30 horas en su máximo de corriente consumida una duración excepcional en independencia energética. Si se divide por 5 horas la utilización de iluminación solo en las noches se puede obtener 5 noches de iluminación independiente.

Por otra parte, otro factor importante es el tiempo de carga de las baterías utilizando los paneles solares, se obtuvieron tiempos entre 28 y 52 horas, este rango de variación es amplia y se debe a la intensidad de radiación solar, la eficiencia de

carga se ve reducida de acuerdo al comportamiento de una variable física incontrolable. [24]

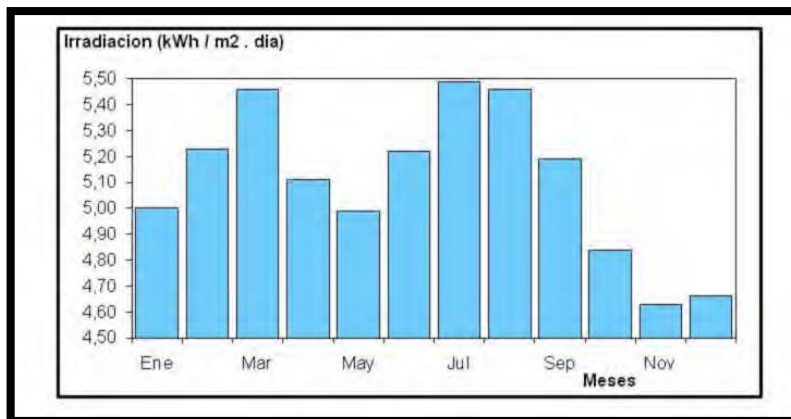
Un parámetro importante es el dimensionamiento de una red solar fotovoltaica independiente de los grupos electrógenos e híbridos, esto aplicado en su mayor parte a viviendas alejadas del suministro eléctrico, no siempre sobredimensionar o infra dimensionar es punto fuerte de buenos resultados ya que los estudios de diseño e instalación del sistema de energía solar, siempre son variantes y difieren uno de otro, para realizar el estudio de dimensionado mediante simulación se escoge una vivienda rural en el estado de Zulia (Venezuela), municipio Mara se evalúan dos servicios para electrificar la vivienda. Un servicio eléctrico con una tasa de fallos menor o igual al 1 % y una autonomía en la carga de las baterías de 2 a 3 días, denominado nivel de calidad A. Un servicio eléctrico con una tasa de fallos entre el 1% y el 3 % y una autonomía en la carga de las baterías de 1,5 a 2 días, denominado nivel de calidad B. En este estudio se encontró que, el nivel de calidad B es ligeramente mayor en costo al de calidad A, esto indica que no presuntuosamente el nivel A será de mucho mayor costo que el nivel B, esto difiere ya que todos los estudios y condiciones no son iguales. La vivienda se encuentra en las siguientes coordenadas; 10°86' latitud norte y 72°48' longitud oeste y los valores de irradiación comprenden entre (4.2 a 5.3 $\frac{\text{kW}}{\text{m}^2}$, día), en la Imagen 19 se puede apreciar un mapa de información geográfica de irradiación del municipio de Mara, donde noviembre es el mes de menor irradiación solar del año con 4.63 $\frac{\text{kW}}{\text{m}^2}$ día. Para el entendimiento del promedio anual en la Imagen 20 se presenta un promedio mensual de irradiación solar recibido en la ubicación de la vivienda [25].

Imagen 19. Sistema de información geográfica con valores de irradiación solar del municipio Mara.



Fuente 24. C. G. Rodríguez Borges y A. Sarmiento Sera, Dimensionado mediante simulación de sistemas de energía solar fotovoltaica aplicados a la electrificación rural.

Imagen 20. Promedio mensual de irradiación solar global recibido en la ubicación de la vivienda.



Fuente 25. C. G. Rodríguez Borges y A. Sarmiento Sera, *Dimensionado mediante simulación de sistemas de energía solar fotovoltaica aplicados a la electrificación rural.*

En Colombia la historia del aprovechamiento de la energía solar data de mediados del siglo pasado, cuando en sus primeras aplicaciones se instalaron sistemas para el calentamiento de agua mediante paneles solares de energía térmica, lugares como la antigua EEB (Empresa De Energía De Bogotá), hospital pablo Tobón Uribe en Medellín y ciudad salitre en Bogotá, cuentan con estas instalaciones que, si bien hoy día no funcionan, físicamente existen y fueron de utilidad.

Imagen 21. Calentador de la cafetería de la antigua Empresa de Energía de Bogotá (EEB). Construido en 1983 por el Centro Las Gaviotas (140 m² de colectores, tanque de 12 000 litros) y desde entonces en operación. Estudios previos para la EEB por la Universidad Nacional de Colombia.



Fuente 26. H. Rodríguez Murcia. *Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas.*

Imagen 22. Colectores solares del Hospital Pablo Tobón Uribe, Medellín, en operación desde mediados de los ochenta (240 m² de colectores, tanque de 20 m³ no visible).



Fuente 27. H. Rodríguez Murcia. Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas.

Imagen 23. Vista parcial de los 1 250 calentadores solares instalados por el Centro Las Gaviotas a mediados de los ochenta en Ciudad Salitre, Bogotá, urbanización del Banco Central Hipotecario.



Fuente 28. H. Rodríguez Murcia. Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas.

La energía solar fotovoltaica en Colombia se introdujo a mediados de los 80 la empresa de telefónica telecom instalo con ayuda de la universidad nacional generadores solares fotovoltaicos de 60 Wp para radioteléfonos rurales actualmente se emplea este tipo de energía para el funcionamiento de repetidoras de microondas, estos sistemas en Colombia tienen una gran perspectiva, se cuenta con más de un millón de personas que carecen de servicio de energía eléctrica por sus lugares de residencia que se ubican en zonas rurales donde las empresas de energía aun no llegan. Lugares como vichada y caño limón Coveñas cuentan con pequeños sistemas de generación de energía solar fotovoltaica.

Sin embargo, todo el avance en 35 años en Colombia fue frenado por las crisis bélicas de los 90, si se estima la capacidad instalada en Colombia a través de la historia se puede hablar de una potencia de 9 Mwp.

En los programas de electrificación rural ha conestado de un panel de 50 a 70 Wp, una batería entre 60 y 120 Ah y un regulador de carga, suministrando energía para radio tv e iluminación, costos de 1200 a 1500 dólares afectado principalmente por la geografía y difícil acceso a las zonas rurales, sin embargo, estos servicios permiten cubrir las necesidades básicas, iluminación y sistemas de información nacional.

Imagen 24. Sistema solar de 2.8 kWp instalado por el antiguo ICEL (Instituto Colombiano de Energía Eléctrica, hoy IPSE) en la Venturosa, Vichada, en 1996. Suministra energía a 120 V AC a una comunidad de 12 familias y centro escolar.



Fuente 29. H. Rodríguez Murcia. Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas.

Imagen 25. Sistema fotovoltaico de 3.4 kWp del Oleoducto Caño Limón- Coveñas. En operación desde hace más de 20 años.



Fuente 30. H. Rodríguez Murcia. Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas.

Como dato adicional se presenta en la Tabla 6. el potencial de energía solar en el país. Si bien existe un gran potencial en energía solar en Colombia, y la falta de estaciones climáticas que permiten tener días de irradiación en todo el año, permiten al campo de esta energía ser altamente implementado en el país el auge es indiscutible, pero aún se está empezando [26].

Tabla 6. Potencial de la energía solar en Colombia, por regiones.

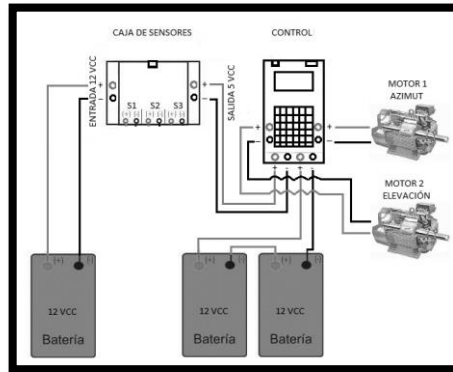
Región del país	Radiación solar(kW/m ² /año)
Guajira	2000-2100
Costa atlántica	1730-2000
Orinoquía-Amazonía	1550-1900
Región andina	1550-1750
Costa pacifica	1450-1550

Fuente 31. H. Rodríguez Murcia. Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas.

Ahora un punto importante a investigar, omitiendo el aprovechamiento de este tipo de energía mediante la captación por medio de los paneles, es de suma importancia mencionar que es posible aumentar la eficiencia mediante sistemas de seguimiento de irradiación solar, estos permiten ubicar el panel solar de distintas formas con el único objetivo de maximizar la captación de energía. En esta situación los seguidores solares pueden aumentar la colección solar entre un 30% o 45% más

que con un panel solar estático, se realizaron pruebas con movimiento del panel cada 60, 30 y 5 minutos y se evaluaron los resultados entre ellos y entre un panel solar estático.

Imagen 26. Sistema de control de movimiento.



Fuente 32. R. Gómez Arreola, a. Quevedo Nolasco, m. castro Popoca, a. bravo vinaja y d. reyes Muñoz. Design, construction and evaluation of a solar tracking system for a photovoltaic panel.

El sistema azimut y elevación, permiten ubicar el panel solar mediante los datos obtenidos por los sensores en la ubicación de mayor captación de radiación solar, cuenta con un sistema de control que mediante la etapa de potencia acciona los dos motores.

Imagen 27. Infraestructura del sistema completo.



Fuente 33. R. Gómez Arreola, a. Quevedo Nolasco, m. castro Popoca, a. bravo vinaja y d. reyes Muñoz. Design, construction and evaluation of a solar tracking system for a photovoltaic panel.

En la Imagen 27. Se aprecia todo el sistema de seguimiento solar, obteniendo resultados como:

Tabla 7. Valores obtenidos con panel estático y en movimiento.

Rendimiento	60 min	30 min	5 min
S1	10.34	10.43	9.66
S2	13.27	13.21	12.28

Fuente 34. R. Gómez Arreola, a. Quevedo Nolasco, m. castro Popoca, a. bravo vinaja y d. reyes muñoz. Design, construction and evaluation of a solar tracking system for a photovoltaic panel.

Observando la Tabla 7. Se evidencia que; el rendimiento del panel solar fijo s2 con respecto a la radiación solar global ISR (100 w m^2), es menor al rendimiento que se observa en s1, y el mayor porcentaje se obtiene en el intervalo de 60 minutos con un aumento del 1.27% respecto al fijo [27].

3.3. Métodos alternativos de tecnificación

El contenido de sólidos solubles en la caña de azúcar constituye uno de los parámetros fundamentales a medir, de estas mediciones es posible obtener estrategias para el óptimo cultivo y cosechado de la caña, en el libro *el cultivo de caña*, Jesús E. Larrahondo menciona la concentración en la caña en forma porcentual de la siguiente forma; agua entre un 73% a 76 %, sólidos totales solubles (Brix, % caña) entre un 10% a 16%, fibra entre un 11% y 16%, entre los azúcares más sencillos se encuentran la fructosa y la glucosa entre 1% y 5%, la calidad como el color y el grano (dureza) de la panela depende en gran parte por los niveles de los parámetros mencionados, que cuando aumentan por deterioro o falta de maduración afectan tanto el color como la calidad del grano y por ende la calidad en el producto final, la panela [28]. En el proceso de producción de panela los grados Brix se encuentran a lo largo del mismo, parámetros como; índice de madurez, grados Brix en jugo de caña de azúcar, grados Brix en etapas de clarificación y concentración y grados Brix en el producto final (panela), son posibles de medir mediante el uso de refractómetros. El índice de madurez en un 85% se considera tierna, 85 a 100% se considera madura (apta para la cosecha), mayor a 100% se considera sobre madura, esta medida se obtiene del cociente entre la determinación del Brix terminal y el basal ecuación (2) [29].

$$IM = \frac{\text{Brix Superior}}{\text{Brix Inferior}} * 100 \quad (2)$$

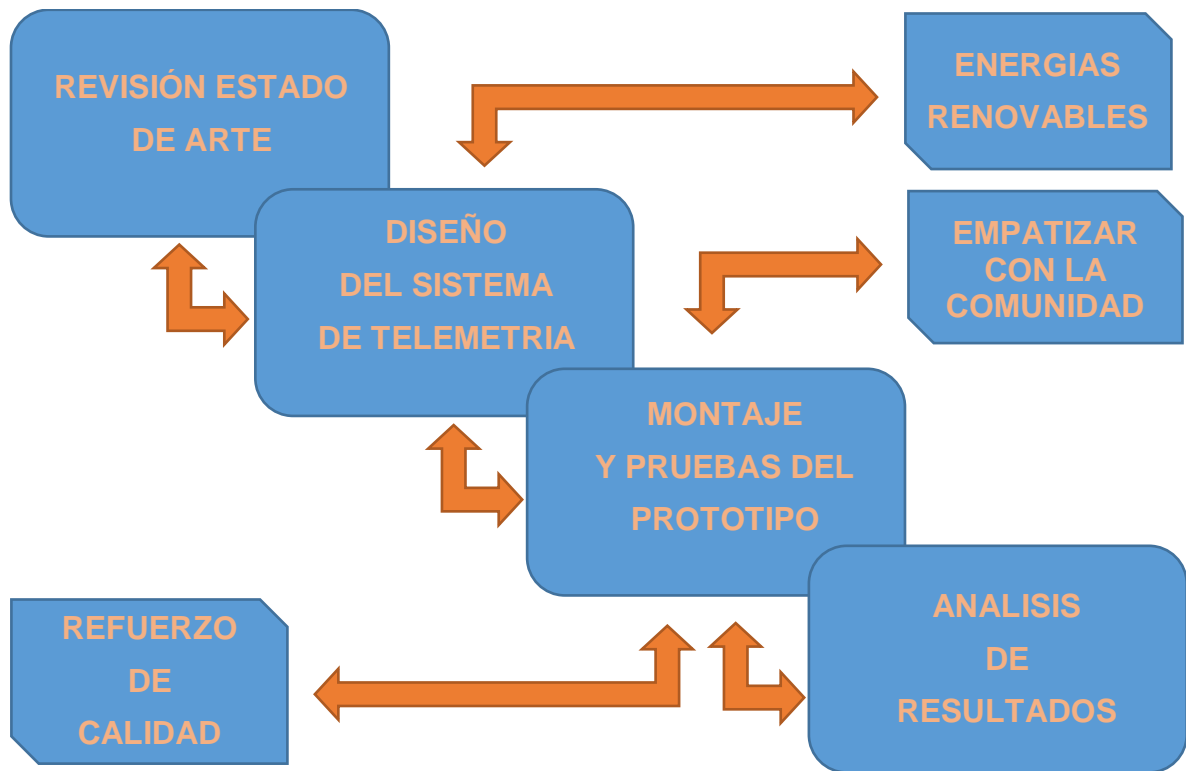
En el jugo de caña de azúcar también es posible utilizar el refractómetro para medir los grados Brix del jugo después de extraído y antes de ser clarificado y concentrado valores entre 16° Bx y 22° Bx son encontrados en esta parte del proceso, a mayor grado Brix, mayor porcentaje de extracción y mayor producción de panela por tonelada [30].

Analizar la estimación del crecimiento de la caña puede ser un método de adquisición de datos que permita obtener variables para manipular la vegetación y así obtener una caña de buena calidad para el procesamiento de panela, en la vereda de guespa Santander se utilizó un terreno de 10.000 metros cuadrados, donde los datos recolectados de la posición de los lotes el estado de los suelos y sus propiedades químicas y el tipo de vegetación obtenida en el cultivo de caña fueron introducidos en un software matemático y mediante modelos estocásticos se determinan modelos geográficos de condiciones distintas que permiten analizar el crecimiento y productividad de la parcela. [31]

4. DISEÑO METODOLÓGICO

El diseño metodológico se divide en 4 fases, el diagrama en la Imagen 28. muestra como en las etapas de revisión, diseño, montaje y análisis de resultados, componen los 4 ejes fundamentales de esta investigación.

Imagen 28. Esquema metodológico.



Fuente 35. Autor.

El estado del arte permitió obtener una conceptualización específica de las tecnologías incluidas en los procesos de producción de panela en Colombia y Latinoamérica, la concepción de la actualidad y los antecedentes permitieron abordar los siguientes pasos con un conocimiento general del tema de investigación. Además, se visualizó el posible impacto que tenía en la comunidad.

Revisado el estado del arte se diseñó un prototipo de adquisición de datos, partiendo de un análisis matemático se abstraen las variables importantes a medir dentro del proceso de producción panela, obteniendo esta variable se escogieron los sensores adecuados para el prototipo.

Teniendo los recursos tecnológicos a la mano ya escogidos por el diseño previo, se montó un sistema de adquisición de datos y monitoreo de variables del proceso de producción de panela, este sistema fue capaz de medir índice de extracción e índice

de producción, adicional se visualizaron datos relevantes como cantidad de litros de jugo de caña, peso del bagazo de caña, peso de la caña de azúcar, peso de la panela. Por otra parte, el prototipo también conto con un componente de telemetría y un componente de archivo, él envió satisfactorio de mensaje de texto de prueba al celular del diseñador y el archivo satisfactorio de resultados en tiempo real.

Luego de las pruebas realizadas se recopilan los datos obtenidos, al analizarlos se halla un índice de exactitud del prototipo, datos similares a las pruebas de validación comparables con datos obtenidos por el CIF (Centro Internacional De Física de la universidad nacional de Colombia) mediante métodos tradicionales. El prototipo se puso a prueba en tres ocasiones obteniendo resultados erróneos en las dos primeras pruebas que permitieron detectar errores y corregirlos, y obteniendo buenos resultados en una última prueba.

El refuerzo de calidad consistió en la adquisición de un refractómetro de mano, con este fue posible realizar mediciones de índice de madurez previo a la cosecha y grados Brix en el jugo de caña de azúcar luego de la cosecha, estos datos sirvieron de refuerzo para relacionar los datos obtenidos por el prototipo. Por otra parte, los dispositivos adquiridos fueron entregados a los productores generando un impacto social directo y tecnificando un poco más el proceso.

La componente de energía renovable generó el mayor impacto positivo con los productores de panela. La implementación de tres sistemas de iluminación fotovoltaica, en los trapiches de Guaduas Útica y Quebrada-Negra, favoreció a los tres productores. Los diseños realizados cumplen hasta la fecha a cabalidad el cubrimiento de servicio propuesto.

4.1. Diseño del sistema de telemetría

Para el diseño del sistema es necesario conocer el proceso de producción de panela, detectando así los puntos donde es posible obtener datos relevantes para el proceso de tecnificación, adaptándolos a un prototipo que monitoree dichos parámetros.

En el proceso de producción de panela el ***índice de extracción*** y el ***índice de producción*** son datos sumamente importantes para el productor. Hallar estos dos parámetros es el principio fundamental del diseño del sistema.

4.1.1. Análisis matemático para la identificación de variables

El *índice de extracción* se obtiene pesando la caña de azúcar respecto al peso del bagazo y/o jugo de caña de azúcar. La ecuación característica se obtiene de pesar dos de los tres elementos, donde:

$$Ie = \frac{Pj}{Pc} * 100 \quad (3)$$

Donde:

Ie = Índice de extracción.

Pj = peso de jugo de caña de azucar.

Pc = peso de la caña de azucar.

$$Pb = Pc - Pj \quad (4)$$

Donde:

Pb = peso del bagazo de caña de azucar.

Pc = peso de la caña de azucar.

Pj = peso del jugo de caña de azucar.

De (4) se obtiene que:

$$Pc = Pb + Pj \quad (5)$$

Sustituyendo (5) en (3):

$$Ie = \frac{Pj}{Pb + Pj} * 100 \quad (6)$$

Si se analiza la ecuación (6) es posible intuir que no es necesario pesar la caña, y se puede buscar métodos alternativos para pesar el bagazo y el jugo, lo que indica que de un análisis básico matemático es posible abstraer el problema e ingeniar un método para hallar estos valores mediante un prototipo de monitoreo de variables [29].

El *índice de producción*, medida que permite relacionar la caña de azúcar con el producto final (panela), se obtiene de pesar una tonelada de caña y compararla con el peso del producto final dentro de la misma cochada, si se halla una relación de 10 a 1 se determina que la producción es ideal. Una tonelada de caña procesada debe arrojar 100 kilos de panela, pero esto puede ser planteado de forma

porcentual, donde el punto de equilibrio será el 100 % valores inferiores indicaran menor producción y valores superiores indicaran sobre producción por tonelada de caña. Para lo cual:

$$Pp \propto Pc \quad (7)$$

Donde:

Pp = peso de panela.

Pc = peso de caña.

De (7) se puede observar una relación proporcional entre el peso de la panela y el peso de la caña.

$$Pp = k * Pc \quad (8)$$

Donde:

$K = Ip$ = índice de producción.

De (8) obtenemos:

$$Ip = \frac{Pp}{Pc} \quad (9)$$

En la ecuación (9) se infiere que; debido al proceso de cocción en la reducción de jugos de caña de azúcar, siempre el peso de la panela será menor al peso de la caña y afirmando por experiencia la relación se establece de 10 a 1, es decir por una tonelada de caña procesada se debe obtener 100 kilogramos de panela, matemáticamente reemplazando valores reales de producción se fija un punto de equilibrio en 0.1 para porcentual izar este valor solo es necesario realizar un producto por 1000. Obteniendo:

$$\%Ip = \frac{Pp}{Pc} * 1000 \quad (10)$$

Donde:

$\%I_p = \text{índice de producción porcentual.}$

Hecho el análisis matemático se obtiene la solución de las variables directas a medir y son; peso de la caña, peso del jugo de caña, peso de la panela, peso del bagazo de caña y peso del jugo de caña.

4.1.2. Requerimientos y restricciones del prototipo

En el apartado anterior se definen las variables a medir, siendo posible establecer las estrategias de medición y seleccionar los sensores adecuados para lograr el objetivo de obtener los valores para satisfacer las ecuaciones (6) y (10). Además de obtener medidas reales de estos parámetros también es posible mirar variables por individual que permitan analizar la información de algunos parámetros importantes dentro de la producción, también es necesario realizar un registro histórico de los datos obtenidos, generar una visualización de los mismos y enviar de forma remota estos valores al productor, quien es el directamente interesado. A continuación, se describen los requerimientos necesarios para construir el prototipo, algunas restricciones y especificaciones de cada una de las partes que componen el sistema y una pequeña introducción de porque fueron elegidos los componentes.

4.1.2.1 Medidor de caudal

El primer objetivo es sensar el jugo de caña de azúcar, una buena solución es utilizar un sensor de flujo de líquido.

Para el prototipo se eligió el modelo Dn32 un medidor de flujo de agua con las siguientes características; corriente de operación máxima 15 mA y tensión óptima de funcionamiento 5 V, apertura de conexión de 1"1/4, rango de temperatura menor o igual a 80° C, presión de 1.75 Mpa.

Realizando las visitas de observación y aplicación se encuentra que, el mejor sitio para colocar este sensor es justo después de la salida del pre limpiador, asegurando que, el paso de jugo por el sensor se dé a través de un conducto de pulgada y cuarto, las adaptaciones pertinentes se realizan con bujes de reducción de dos pulgadas a pulgada y cuarto y codos de dos pulgadas ya que la tubería manejada por el productor es de ese diámetro y el sensor maneja un diámetro distinto.

Imagen 29. Caudalímetro instalado.



Fuente 36. Autor.

Imagen 30. Caudalímetro instalado (otra perspectiva).



Fuente 37. Autor.

Como el sensor utiliza aspas mecánicas en movimiento con la dinámica de fluido, se presenta una restricción, el sensor puede sufrir taponamientos por residuos sólidos dentro del jugo de la caña como astillas de la misma planta, por experiencia en las pruebas el sensor sufrió taponamiento y las aspas dejaron de presentar movimiento. Una posible solución es implementar un sensor de flujo robusto, de una característica diferente y que realice la medición sin efectos mecánicos, dicho tipo de sensores se salen del presupuesto obtenido.

Imagen 31. Taponamiento del Caudalímetro.



Fuente 38. Autor.

4.1.2.2 Detector de objetos

El segundo objetivo es pesar el bagazo de caña de azúcar, en visitas a algunos trapiches se encontró que, el bagazo es transportado en canecas, realizando algunas pruebas se detectó que debido a la morfología y propiedades del bagazo las canecas después de llenadas tenían el mismo peso, en el trapiche ubicado en Guaduas el peso constante era de 23 kg y en Útica el peso estimado constante era de 17 Kg. Teniendo en cuenta la observación anterior se decide usar dos sensores infrarrojos.

Para el prototipo son elegidos dos sensores infrarrojos E18-D50NK con las siguientes características; voltaje de alimentación 5 v, corriente 100 mA, distancia de 3 cm a 80 cm ajustable.

Se Aseguraron a una estructura diseñada para ubicar la caneca en la posición de detección sin interferir en el proceso normal de producción de bagazo, contando el número de canecas con bagazo, se realiza un producto entre el número de canecas y la constante observada, obteniendo el peso del bagazo con un método alternativo. La mejor ubicación para este dispositivo es rodeando la caneca plástica que recibe el bagazo después de moler la caña, apreciar Imagen 35.

Se encontró que las conexiones deben estar perfectamente revestidas con fundas térmicas, cinta, o tubería, cualquier interferencia en el cableado genera desfases de conteo, en especial hay que tener cuidado en capacitar al personal al momento de la prueba para obtener un conteo efectivo.

Imagen 32. Detector de objetos.



Fuente 39. Autor

Imagen 33. Detector retirado por interferencias.



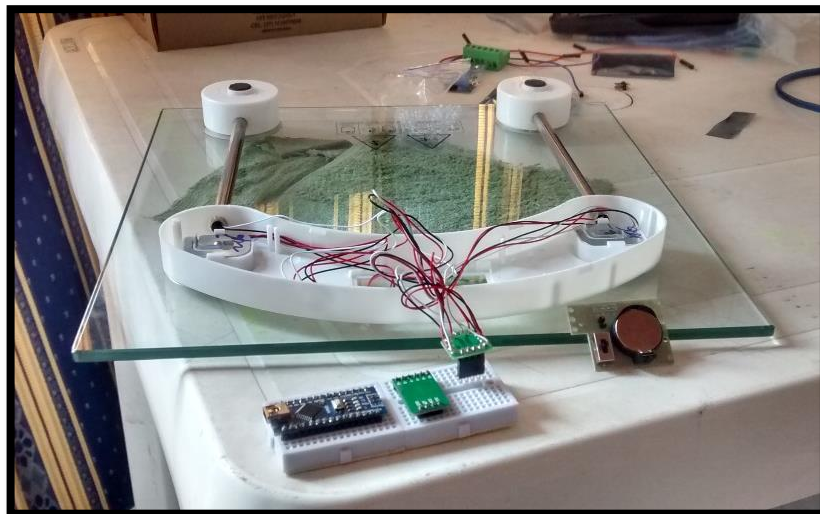
Fuente 40. Autor.

4.1.2.3 Báscula electrónica

Por último, es necesario pesar el producto final (panela), observando las moliendas en los trapiches de Útica, Guaduas y Quebrada-Negra, se evidencia que, el peso de cada caja de panela nunca es superior a los 30 kg. utilizar una báscula electrónica común, es la solución indicada para monitorear este parámetro.

Sin embargo, la báscula es modificada para que envíe la información de peso de la panela al micro controlador, obteniendo así el peso de cada caja de panela y el peso total de una cochada dentro de la producción de panela. Para su modificación se suspende el circuito de fábrica interno y la pantalla LCD, dejando solo así las celdas de carga dentro de la estructura. Se acopla el módulo conversor análogo digital Hx711, que permite internamente encargarse de la lectura del puente de wheatstone formado por las celdas de carga, entregando el dato digital posible de leer por el micro controlador, en este caso se optó por realizar un puente entre Arduino uno y el Arduino mega, el Arduino uno se encarga de recibir las lecturas del módulo conversor y transmitirlo por comunicación serial al Arduino mega, que es el encargado de procesar el dato de peso recibido para incluirlo dentro de las variable necesarias para hallar **índice de producción**. Adicional ya que la báscula no cuenta con una pantalla inmediata, un sistema de led RGB permite mediante colores informar el proceso, iniciando, el color rojo indica que está calculando la tara, calculada la tara el color azul indica que la báscula esta lista para su funcionamiento, luego de colocar un peso en ella el color verde y la transición de nuevo al azul indicara al operario que la medición fue finalizada y que está lista para una nueva pesada.

Imagen 34. Báscula en modificación.

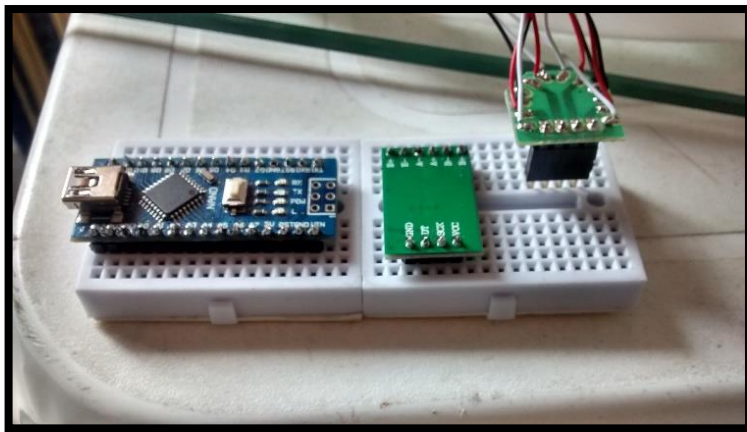


Fuente 41. Autor.

La báscula es ubicada en una superficie plana y nivelada, cerca al cuarto de moldeo, ya que en el proceso de producción inmediatamente moldeado el dulce de caña y convertido en panela cuando ha secado lo suficiente es empacado en cajas de aproximadamente 5 kg para el caso del trapiche san Jorge en Útica.

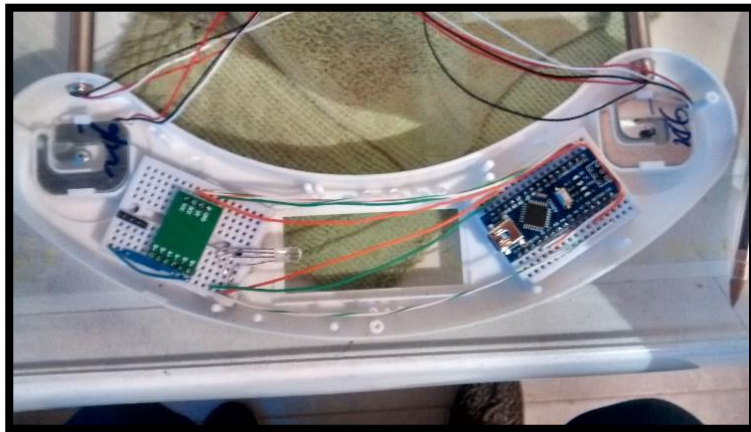
Se observa que pesar más de 70 kg entrega un porcentaje mayor de error en el peso real del objeto, es importante no pesar más de 30 kg a la vez, la báscula solo debe ser utilizada para pesar la panela que pertenezca al segmento de tonelada de caña procesada para asegurar que los parámetros medidos en una cochada, entreguen datos relevantes, relacionales y relacionables.

Imagen 35. Componentes adicionados en la modificación de la báscula.



Fuente 42. Autor.

Imagen 36. Componentes acoplados dentro de la báscula.



Fuente 43. Autor.

4.1.2.4 Modulo SD

Recabar datos es una tarea importante en el monitoreo de variables, llevar un registro histórico permite obtener información, esta información es valiosa para crear estrategias que permitan aumentar la producción y la calidad de la molienda y de la panela. Para lograr este ítem se adecua un módulo micro sd al sistema, este es el encargado de guardar los datos en tiempo real del sistema en funcionamiento, un archivo csv es creado para luego descargar los datos y tratarlos de forma adecuada, obteniendo estadísticas del proceso de producción de panela.

El modulo utilizado es el lector TF SPI/SDIO Micro sd, con una tensión de operación entre 3.3 v a 5 v.

Este está ubicado en el panel principal, donde se encuentra la visualización de los datos el micro controlador principal y el módulo GSM.

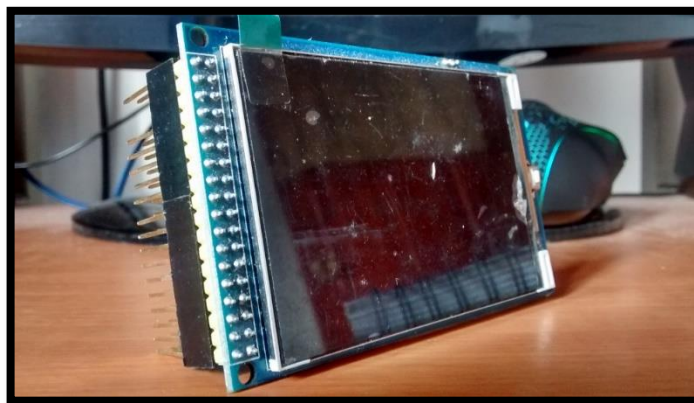
Es imperativo asignar la suficiente potencia al sistema de lo contrario, el modulo puede no recopilar los datos por falta de corriente para su funcionamiento.

4.1.2.5 Shield TFT 3.2 pulgadas

Todo monitoreo de variables debe contar con una visualización de los datos y el estado del sistema, para lo cual se acopla una pantalla al prototipo.

La pantalla TFT 3.2 pulgadas cuenta con una resolución de 480 x 320 pixeles y es compatible con Arduino mega, calidad de color de 262 K y cuenta con un socket para sd que viene con SPI flash, tensión de trabajo de 5 v y área local activa de 67.68 mm x 45.12 mm. Su ubicación esta justo en el panel principal sobre del micro controlador. No contiene interacción directa táctil con el usuario.

Imagen 37. Pantalla.



Fuente 44. Autor.

4.1.2.6 Shield SIM-900

Siendo un prototipo basado en telemetría se necesita un envío de información remoto, con esta adaptación el productor interesado recibirá los datos del proceso de producción mediante un mensaje de texto, en cualquier parte del país con cobertura telefónica, la red seleccionada es movistar debido a que es la señal entrante al lugar del trapiche.

Para realizar este paso se implementó un módulo GSM/GPRS SIM900 esta tarjeta maneja un sistema GPRS, que permite al usuario el envío de SMS, MMS, GPRS y audio a través de comandos UART, la tensión de alimentación es de 9 v a 20 v, las bandas soportadas de frecuencia son; 850/900/1800/1900 MHz, con altavoz y toma de auriculares, entra en bajo consumo de energía a los 1.5 mA.

Este dispositivo se localiza en el panel central del sistema o prototipo. Debe necesariamente ser alimentado por una fuente de poder individual que proporcione la suficiente potencia para su correcto funcionamiento, el no hacerlo implica fallos del sistema total.

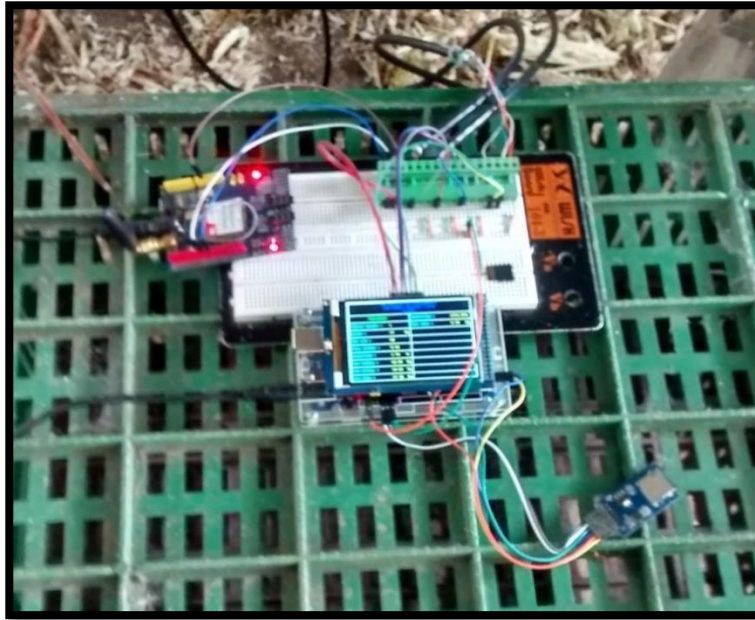
4.1.2.7 Arduino mega

Todos los datos deben ser recolectados, procesados, visualizados, archivados y enviados al productor de panela, en esta etapa entra el cerebro del sistema.

Para esta cualidad se elige un Arduino Mega 2560 con chip CH340, tiene 54 pines de entradas o salidas, 15 para señales PWM, 16 entradas analógicas, 4 puertos UART, frecuencia de reloj de 16 MHz, un header ICSP, conector USB, tensión de operación 5 v, 7 v y 12 v, límites de tensión de 6 v a 20 v.

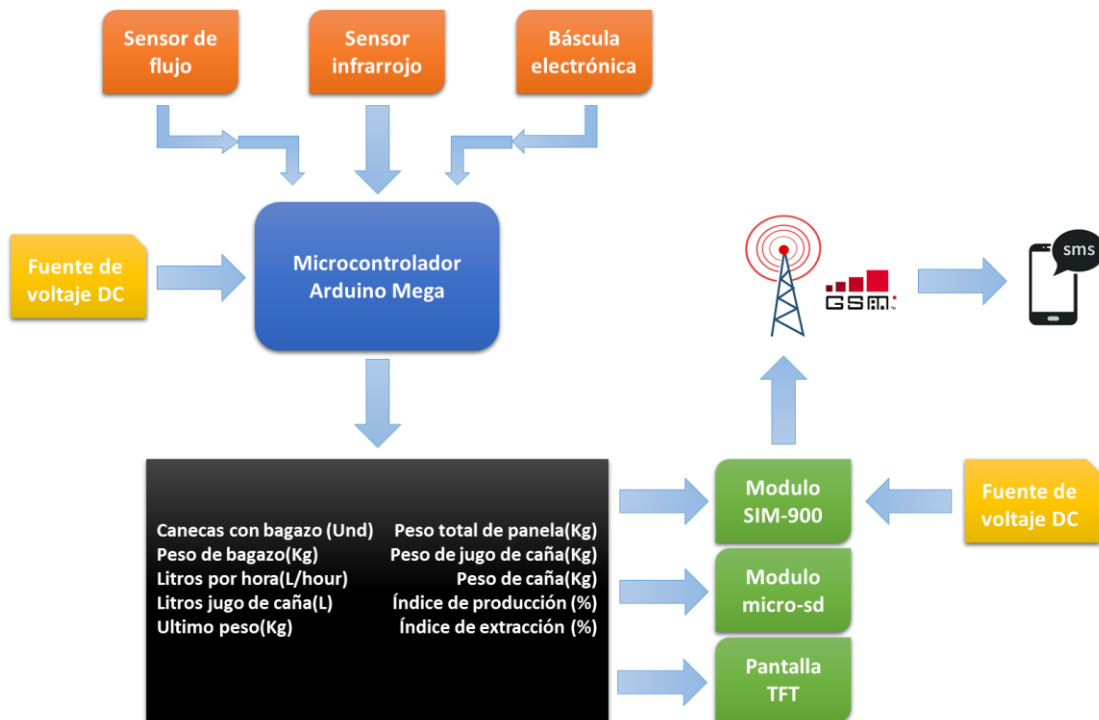
Siendo el cerebro su ubicación se encuentra en el módulo principal. Sin embargo, es un micro controlador creado para realizar el prototipo, su uso dentro del trapiche es de prueba ya que para industrializar el prototipo se recomienda un micro controlador mucho más robusto.

Imagen 38. Módulo principal en pruebas.



Fuente 45. Autor.

Imagen 39. Diagrama de bloques del sistema de telemetría.



Fuente 46. Autor.

4.1.2.8 Requerimientos varios del sistema

Hemos comentado en el apartado anterior los principales componentes del sistema cabe resaltar, que para que todo sea un sistema Prototipado en funcionamiento se requiere materiales adicionales que, si bien son importantes, merecen una descripción menor. Las conexiones realizadas entre componentes del sistema en el módulo se realizan con jumper Arduino, para extender los sensores es necesario utilizar cable UTP, este permite proteger las señales y extender los dispositivos hasta las respectivas ubicaciones dentro del trapiche, la alimentación es proporcionada por dos fuentes de voltajes de 12 v a 2 A, estas cubren las necesidades de potencia del prototipo entero, una sim card para el modulo SIM 900 con carga y paquete de mensajes de texto, una micro sd que insertada en el módulo micro sd, será el archivo del proceso, tubería de pulgada y cuarto con bujes de reducción de 2" a 1"1/4, codos y aditamentos para implementar de forma adecuada el caudalímetro, estructura en tubo PVC de acueducto para soportar los sensores de movimiento, herramientas varias.

4.2. Diseño del sistema de energía solar

Luego de conocer el entorno y las instalaciones de los distintos trapiches paneleros, (Guaduas, Quebrada-Negra y Útica), se decide realizar la instalación solar fotovoltaica que cubra los puntos álgidos de producción en horas nocturnas o entrada la madrugada. En primera instancia el objetivo era implementar el sistema como un recurso de reserva en caso de fallas de energía, pero luego del dimensionado, fue posible implementarlo totalmente como un sistema autónomo.

4.2.1. Análisis matemático del sistema fotovoltaico

4.2.1.1 Calculo de consumos estimados

En esta etapa se tiene en cuenta la carga en potencia total que debe satisfacer el sistema fotovoltaico, para lo cual se calcula en Wh vatios hora, el consumo de cada tipo de carga.

$$(numero\ de\ tipos\ de\ carga)(horas\ de\ uso)(potencia\ en\ W) = X (Wh) \quad (11)$$

La ecuación (11) representa los parámetros a tener en cuenta para calcular por cada tipo de carga la potencia en watts por hora, donde X será el resultado obtenido al reemplazar los componentes por valores numéricos. Este proceso debe realizarse por cada el número de cargas a utilizar.

Obtenido los consumos parciales por tipo de carga simplemente se realiza una sumatoria, obteniendo así el consumo total parcial de todas las cargas.

Es recomendable aplicar un rendimiento general del sistema, puede ser de un 75%:

$$X_T(Wh) = \frac{X_p(Wh)}{0.75} \quad (12)$$

La ecuación (12) representa la carga a suplir con el sistema a diseñar, donde X_T es la carga total a cubrir y X_p es la carga parcial obtenida en la sumatoria de los tipos de carga. Al reemplazar los valores en las ecuaciones anteriores se obtiene que:

$$(8 \text{ bombillas})(6 \text{ horas})(9w) = 432Wh = X_p(Wh)$$

$$X_T(Wh) = \frac{432Wh}{0.75} = 576 Wh$$

Imagen 40. Luminaria fotovoltaica en funcionamiento, en el trapiche san Jorge, Útica.



Fuente 47. Autor.

4.2.1.2 Radiación solar disponible

En este apartado se utilizan bases de datos online, como el de la NASA, que contiene datos de insolación para todos los meses del año dependiendo de la zona a estudiar. Solo es necesario utilizar estas aplicaciones e ingresar latitud y longitud para obtener información mes a mes de irradiación solar, es conveniente para el dimensionamiento del sistema utilizar el mes de peor calificación.

Imagen 41. Coordenadas y mapa satelital del trapiche san Jorge.



Fuente 48. Google Maps.

Tabla 8. Radiación solar mes a mes, de la zona.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
4.83	4.87	4.93	4.75	4.86	5.07	5.4	5.53	5.28	4.8	4.62	4.54

Fuente 49. NASA.

$$X_{HSP} = \frac{\text{radiacion solar tablas}}{1kW/m^2} \quad (13)$$

Donde X_{HSP} representa las horas sol pico como el cociente entre los datos obtenidos por la consulta en las bases de datos y el parámetro de calibración de los módulos. Al resolver la ecuación se obtiene:

$$X_{HSP} = \frac{4.54 \text{ kWh}/m^2}{1kW/m^2} = 4.54 \text{ HSP}$$

4.2.1.3 Paneles solares necesarios

Es necesario determinar el número de paneles necesarios a utilizar, siguiendo los parámetros de fabricación del tipo de panel elegido y el mes desfavorable de radiación solar obtenido en las bases de datos y asimilado con la radiación solar de calibración.

$$N_m = \frac{X_p(Wh)}{(X_{HSP})(0.75)(PPM)} \quad (14)$$

Donde (0.75) es el rendimiento de trabajo normalmente especificado en la hoja técnica del módulo solar y (PPM) es la potencia pico del módulo solar, las demás variables presentes en la ecuación (11) se obtiene de las ecuaciones anteriores. El resultado debe ser redondeado, para obtener un número entero de paneles. Así que:

$$N_m = \frac{432Wh}{(4.54_{HSP})(0.75)(90W)} = 1.4 \text{ paneles}$$

Imagen 42. Panel solar instalado en el trapiche de Quebrada-Negra.



Fuente 50. Autor.

4.2.1.4 Capacidad de los acumuladores

En esta etapa es necesario establecer la autonomía deseada, previniendo días nublados o de baja insolación, para asegurar un sistema continuo de energía.

$$X_{Ah} = \frac{(X_T(Wh))(dias \ de \ autonomia)}{(V_{PS})(profundidad \ de \ descarga \ de \ la \ batería)} \quad (15)$$

Donde X_{Ah} es la autonomía en amperios hora, V_{PS} es el voltaje del panel solar, y la profundidad de descarga de la batería se obtiene en las especificaciones técnicas de la batería a emplear.

$$X_{Ah} = \frac{(576(Wh))(3días)}{(21.6V)(0.70)} = 114 Ah$$

Para el sistema elegido, la batería tiene una capacidad de 120 Ah.

Imagen 43. Batería instalada en el trapiche San Jorge, Útica.



Fuente 51. Autor.

4.2.1.5 Regulador e inversor

Para elegir el regulador de carga se debe observar especificaciones técnicas del mismo de acuerdo al tipo de sistema diseñado, el inversor proporcionara la energía en el sistema deseado, convirtiendo 12 v DC o 24 v DC en niveles alternos. En el caso de Latinoamérica de 120 V alterna a 60 Hz y Europa de 220 V alterna a 50 Hz.

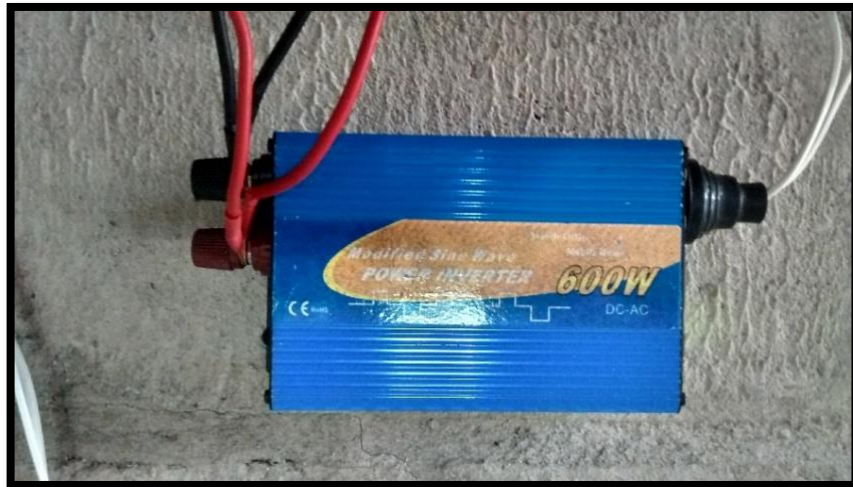
$$P_{inversor} = X_T(Wh) * \text{coeficiente de simultaneidad} \quad (16)$$

La ecuación (16) representa la potencia del inversor como el producto entre el consumo total de potencia calculado y el coeficiente de simultaneidad que se encuentra en las especificaciones técnicas del inversor a elegir. Sustituyendo se obtiene:

$$P_{inversor}=576Wh * 0.7 = 4.3W$$

Entre los elementos adquiridos se tiene un regulador de 600 W, suficiente potencia para su implementación.

Imagen 44. Inversor instalado en el trapiche de Guaduas.



Fuente 52. Autor.

Imagen 45. Regulador instalado en el trapiche de Guaduas.



Fuente 53. Autor.

4.2.1.6 Observación sobre la implementación

Se implementaron tres sistemas fotovoltaicos independientes, en los trapiches ubicados en Guaduas, Quebrada-Negra y Útica. Hasta la fecha los tres sistemas se encuentran en perfecto funcionamiento. Todos con 8 cargas de 9 w, 1 panel solar de 90 w, 24 v y 5 A, batería de 120 Ah, regulador e inversor de 600 W.

4.3. Parámetro de calidad y producción (refractómetro)

Ya se observó cómo los sistemas de prueba (prototipo de monitoreo de variables) e implementación (energía renovable), se diseñaron con el objetivo de monitorear la producción, sin embargo la calidad también es un parámetro importante, y para complementar los diseños ya mencionados se decide utilizar un refractómetro de mano, este dispositivo puede medir mediante el proceso físico de refracción de la luz, el contenido de sólidos solubles. Para el caso de la producción de panela el azúcar que contiene la caña, este parámetro se denomina grado Brix e incide en dos lecturas importantes para el productor *índice de madurez* en el cultivo de caña y *grados Brix* en el jugo puro de caña.

El índice de madurez indica al productor si el cultivo es apto para cosechar, mientras que el parámetro de grados Brix en el jugo de caña permite observar si la caña procesada es de buena calidad. A mayor grado Brix, mayor producción de panela, para el productor representa una herramienta útil para mejorar los tiempos de cosecha y crear estrategia de maduración de caña después del corte, el hecho de esperar un día más, puede aumentar la producción y calidad de la panela. Para el investigador representa datos útiles comparables y relacionales con los obtenidos por el prototipo. En el capítulo 5 se observarán los resultados del uso de este dispositivo, referentes a verificación de cultivo previo abonado y relaciones con respecto a los parámetros de índice de producción e índice de extracción.

El instrumento posee un visor, donde es posible observar el resultado de la medición, sin embargo, se adecuó con un soporte para miras telescópicas o microscópicas, con el objetivo de obtener evidencia fotográfica de las pruebas realizadas, cada uno de los refractómetros fue entregado en los trapiches de Guaduas, Quebrada-Negra y Útica, generando un impacto directo en la comunidad productora.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS


Como se ha visto, el prototipo de monitoreo de variables en el proceso de producción de panela y el sistema fotovoltaico de iluminación, han sido descritos en ubicación, funcionalidad, componentes, análisis matemático y desarrollo. No obstante, es necesario observar los datos recolectados de las 3 pruebas realizadas en el trapiche panelero de Útica. En este capítulo se presentarán los resultados obtenidos de forma cronológica.

5.1. Primera prueba del prototipo de telemetría

En esta primera prueba se instaló el prototipo con dos sensores, el caudalímetro y el detector de objetos directamente al proceso de producción, en esta prueba no se busca aun la validación de los datos obtenidos, los resultados están directamente relacionados con el funcionamiento de los sensores y la perturbación que puede causar en el proceso de fabricación de panela, detectando errores y corrigiéndolos para una segunda prueba.

La prueba consiste en medir los litros de jugo de caña que pasan por el conducto instalado, al mismo tiempo contar las canecas salientes de bagazo, con estos dos parámetros visualizar; número de canecas con bagazo, peso del bagazo, litros por hora, total de litros e índice de extracción. Los datos visualizados se aprecian en la Imagen 48.

Imagen 46. Visualización de los datos en el momento exacto de la prueba.



The image shows a digital display with two columns: 'VARIABLES' and 'OBSERVACIONES'. The 'VARIABLES' column lists several metrics with their corresponding values. The 'OBSERVACIONES' column is currently empty.

VARIABLES	OBSERVACIONES
CANECAS DE BAGAZO = 310	
PESO DE BAGAZO EN Kg = 7130	
LITROS/HORA DE JUGO = 40	
LITROS EN TOTAL = 400.31	
EXTRACCION = 11.73	

Fuente 54. Autor.

Tabla 9. Valores obtenidos por el prototipo en la primera prueba en campo.

Variable medida	Valor obtenido
Canecas con bagazo	310 canecas
Peso de bagazo	7130 kg
Litros por hora	40 litros/hora
Litros en total	480.31 litros
Extracción	11.73%

Fuente 55. Autor.

Se observa en la Tabla 9. que, el primer valor está totalmente desviado de los parámetros normales, este resultado permitió observar que, el sensor infrarrojo carecía de protección en las uniones del cableado lo que generaba señales parasitas que aumentaban desmesuradamente el conteo de canecas, es necesario realizar una estructura capaz de proteger el cableado de cualquier interferencia, además en esta primera prueba se utilizó solo un sensor, por seguridad y eficacia se decidió instalar otro.

El sensor de caudal tuvo éxito en la medición, de acuerdo a la medición volumétrica del contenedor de jugo de caña que en sus medidas contaba con altura de 60 cm, largo de 1 m y ancho de 1 m, la medida volumétrica es de 0.6 metros cúbicos, como en 1 metro cubico puede reposar 1000 litros de jugo, este recipiente puede contener 600 litros, terminada la prueba, se aprecia en la Imagen 46. Como el contenedor aún no está totalmente lleno, se infiere un dato muy aproximado a la realidad. Los demás datos se derivan de operaciones matemáticas internas ya descritas.

Imagen 47. Contenedor de jugo de caña en el momento exacto de la prueba.



Fuente 56. Autor.

5.2. Segunda prueba del prototipo de telemetría

En una segunda prueba, se incluye una báscula electrónica modificada complemento importante del sistema para relacionar el índice de producción, se corrige el error de la primera prueba adecuando una estructura que protege el cableado de los sensores infrarrojos y se instala de nuevo el caudalímetro. Además, es pesada una tonelada de caña, con el propósito de comparar los datos reales con los datos obtenidos por el prototipo y así obtener la validación del sistema.

Sin embargo, surgió un nuevo error, el caudalímetro sufrió taponamiento por residuos sólidos dentro del jugo de caña (astillas de caña). Como el proceso de producción de caña era continuo, retirarlo y limpiarlo no era opción. Se presentan los datos obtenidos hasta el taponamiento del sensor, perdiendo así la prueba de validación para el índice de extracción, pero recopilando datos acertados hasta ese momento.

Tabla 10. Valores obtenidos en la segunda prueba.

Variable medida	Valor obtenido
Canecas con bagazo	13 canecas
Peso de bagazo	221 kg
Litros por hora	0 litros/hora
Litros en total	338.44 litros
Extracción	59.09%
Peso de panela	0 kg
Peso actual	0 kg
Peso de caña	498.54 kg
Producción	0 %
Peso de jugo de caña	294.64 kg

Fuente 57. Autor.

En la Tabla 10. se observa con satisfacción que los valores obtenidos están dentro de los parámetros de una producción ideal, con un índice de extracción del 59.09 % que es un dato relevante para el productor, se encuentra en el segmento de índice de extracción satisfactorio, debido a la falta de validación en esta prueba es difícil obtener un margen de error respecto al índice de extracción tomado de forma común.

Se observo parámetros importantes como los litros de jugo, el peso del bagazo y el peso de la caña, datos obtenidos de una forma alternativa, ya que con el prototipo se evita pesar la caña y el bagazo, de igual forma estos valores están dentro del

rango normal de una producción panelera. En la Imagen 47. se observa en pantalla los valores obtenidos al momento de la prueba.

Imagen 48. Visualización de los datos obtenidos en el momento de la prueba 2.

VARIABLES		PRODUCCION =	0.00 %
CANECAS BAGAZO =	13	PESO JUGO =	294.64 Kg
BAGAZO =	221 Kg		
JUGO L/M =	00		
TOTAL LITROS =	338.44		
EXTRACCION =	59.09 %		
PESO PANELA =	0.00 Kg		
PESO ACTUAL =	0.00 Kg		
PESO CANA =	498.64 Kg		

Fuente 58. Autor.

En esta prueba se implementó la báscula electrónica, pesando la panela ya en su empaque, se comprueba la relación del índice de producción pesando una caja de panela y simulando las demás variables. Esta segunda prueba da como resultado el taponamiento del caudalímetro, detectando este error se procede a corregirlo para la tercera y última prueba.

Imagen 49. Visualización con valores de peso de panela y producción.

VARIABLES		PRODUCCION =	99.09 %
CANECAS BAGAZO =	1	PESO JUGO =	31.44 Kg
BAGAZO =	17 Kg		
JUGO L/M =	042		
TOTAL LITROS =	34.93		
EXTRACCION =	64.910 %		
PESO PANELA =	4.80 Kg		
PESO ACTUAL =	4.80 Kg		
PESO CANA =	48.44 Kg		

Fuente 59. Autor.

5.3. Tercera prueba del prototipo de telemetría

En esta tercera prueba se tuvo en cuenta los errores detectados y fueron corregidos, además se cambió la estrategia de validación de la siguiente manera; el peso de la caña de azúcar se hizo por secciones de 100 kilogramos hasta lograr media tonelada con el fin de tener un dato relevante en caso de algún fallo del sistema, se consultó pruebas de índice de extracción del CIF (Centro Internacional De Física), quienes en visitas pasadas tomaron parámetros de índice de extracción, además el dispositivo soportó las horas necesarias para pesar la panela producida de la caña seleccionada, con estas estrategias se obtuvieron datos similares entre el prototipo, la consulta y los datos de peso tomados.

Tabla 11. Valores obtenidos de la última prueba del prototipo.

Variable medida	Valor obtenido
Canecas con bagazo	18 canecas
Peso de bagazo	306 kg
Litros por hora	02 litros/hora
Litros en total	338.8 litros
Extracción	49.91%
Peso de panela	49.8 kg
Peso actual	5 kg
Peso de caña	498.54 kg
Producción	81.52 %
Peso de jugo de caña	294.64 kg

Fuente 60. Autor.

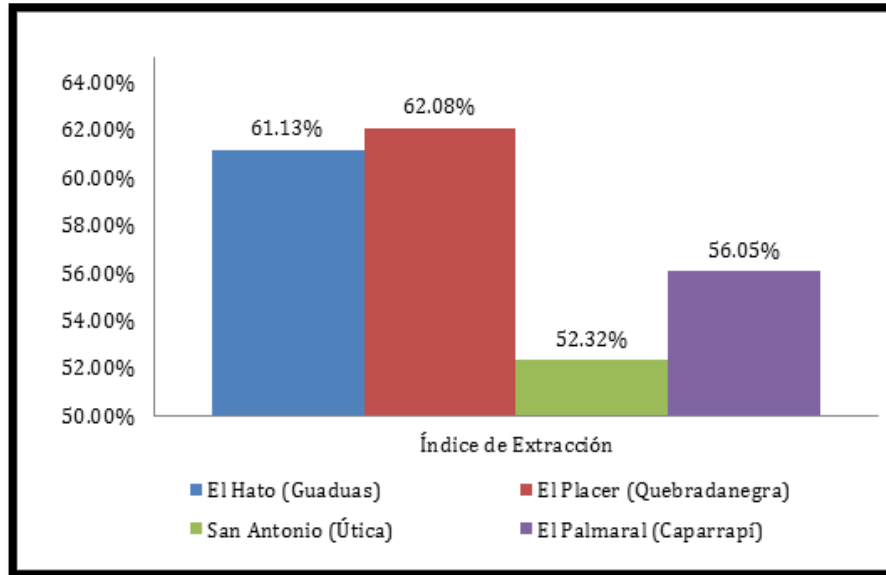
Tabla 12. Índice de extracción en pruebas del CIF.

Trapiche	Nº De Pruebas	Masa De Caña Kg	Masa De Jugo Kg	Extracción %
San Antonio (Útica)	1	25.6	13.50	54
	2	25.16	13.40	53.26.
	3	25.74	13.69	55.32
	4	25.32	13.70	54.09
	5	25.3	12.56	49.64
	6	24.7	11.76	47.61
	PROMEDIO			52.32

Fuente 61. Suministrado por el CIF.

Al comparar la información de la Tabla 11. Y Tabla 12. Se observa que, el parámetro de índice de extracción obtenido por el prototipo es muy similar al obtenido en pruebas hechas con el método tradicional por el CIF, la Imagen 49. muestra el promedio de índice de extracción obtenido en 4 trapiches distintos. Es decir, el prototipo cuenta con un porcentaje de exactitud del 97.25%.

Imagen 50. Índice de extracción de 4 trapiches, entre ellos el de interés, Útica.



Fuente 62. Suministrado por el CIF.

Imagen 51. Visualización de resultados de la última prueba.



Fuente 63. Autor.

En la Imagen 50. se observa los resultados arrojados por el modulo en la prueba final.

5.4. Pruebas con el refractómetro

En cada una de las tres pruebas mencionadas anteriormente, se utilizó en paralelo el refractómetro de mano midiendo los grados Brix del jugo de caña procesado. También se realizó una medición especial de índice de madurez con un cultivo de caña previamente abonado por el CIF.

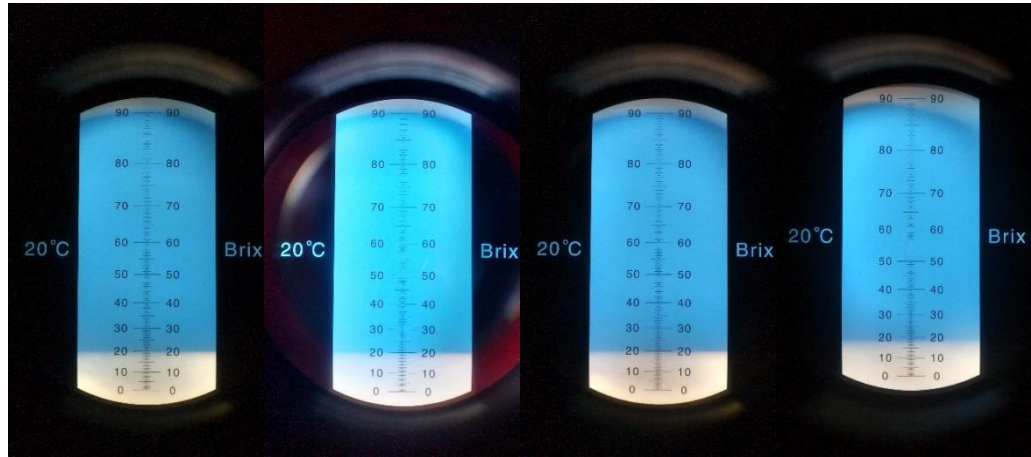
Imagen 52. Grados Brix jugo de caña, 4 muestras, prueba 1.



Fuente 64. Autor.

La Imagen 51. suministra la información obtenida referente a grados Brix del jugo de caña de azúcar de la primera prueba realizada, con 18° Bx, las muestras fueron tomadas de forma aleatoria con intervalos de tiempo prudentes para asegurar un promedio adecuado.

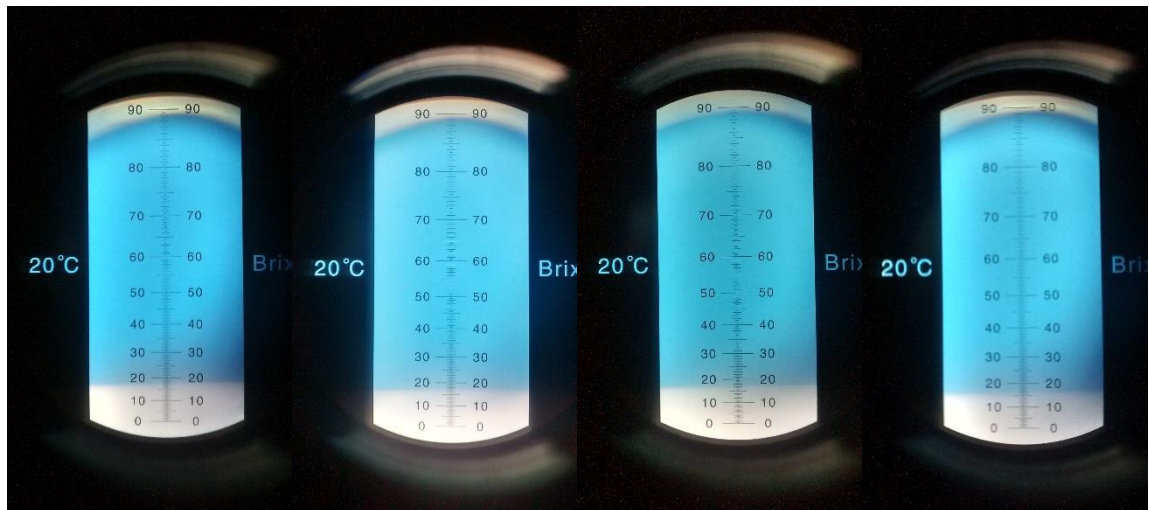
Imagen 53. Grados Brix jugo de caña, 4 muestras, prueba 2.



Fuente 65. Autor.

La Imagen 52. permite evidenciar los grados Brix del jugo de caña de la prueba 2, obteniendo un promedio de 20 ° Bx, el más alto entre las pruebas. Cabe resaltar que la caña procesada en esta molienda, es la cosecha abonada por el CIF un año atrás, se refleja mayor concentración de azúcar gracias a esa labor.

Imagen 54. Grados Brix jugo de caña, 4 muestras, prueba 3.



Fuente 66. Autor.

La Imagen 53. refleja las muestras de jugo de caña tomadas en la tercera prueba, 18° Bx a 19° Bx, el cambio no es mucho lo que indica que la caña ha sido cultivada de la misma forma y la producción se mantendrá.

Tabla 13. Relación grado Brix índice de extracción y pruebas realizadas.

Nº De Prueba	Grado Brix ° Bx	Extracción %
Prueba 1	18	11.73
Prueba 2	20	59.09
Prueba 3	19	49.91

Fuente 67. Autor.

La Tabla 13. arroja un dato importante sobre el uso del refractómetro, el índice de extracción obtenido por el prototipo en la prueba 2 es mayor al igual que los grados Brix del jugo de caña, es decir la relación grados Brix-extracción existe.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El desarrollo del prototipo de telemetría permitió monitorear variables inmersas en el proceso de producción de panela. Variables como peso de bagazo, litros de jugo de caña de azúcar y peso de panela, fueron suficientes para obtener índice de extracción e índice de producción.
- La investigación del estado del arte permitió aclarar el panorama sobre los parámetros relevantes a monitorear en el proceso de producción de panela, identificando los puntos importantes de medición de variables, sin interferir en forma negativa en el trabajo del productor.
- El diseño e implementación para pruebas del prototipo de telemetría, arroja como resultado evidente la posible industrialización de los componentes del sistema, taponamientos en el sensor de caudal, interferencias en el detector de objetos, permitieron intuir que elegir la robustez para un proyecto futuro ofrecerá un mayor número de datos recolectados, se debe buscar una operación continua del sistema durante todo el proceso.
- El sistema fotovoltaico genera un impacto directo en la comunidad, problemas como el corte de energía eléctrica convencional han sido solventados por este sistema y en algunos casos la iluminación del trapiche es autónoma, la instalación hecha en los tres trapiches Útica, Guaduas y Quebrada-Negra, aún siguen en funcionamiento pleno, y los procesos de producción ya no presentan interrupción en horas nocturnas o entrada la madrugada gracias a esta implementación.
- El taponamiento del caudalímetro y las interferencias en el detector de objetos, son errores corregidos, pero solo para el prototipo, el cual soporta las pruebas realizadas por espacio de 3 a 4 horas debido a las condiciones del entorno que son demasiado fuertes.
- El uso del refractómetro compone un apoyo de calidad al sistema de telemetría. Además, la revisión periódica del índice de madurez le indica al productor el tiempo de cosecha con más exactitud lo que incide en un aumento de calidad. La medición del jugo de caña también incide en el parámetro de producción ya que se comprobó que a mayor grado Brix mayor producción de panela.

7. ANEXOS

7.1. Pruebas de Integración de la etapa de Instrumentación con el sistema de Adquisición de Datos DAQ, y el módulo de Comunicaciones

Son seleccionados los dispositivos a utilizar en este sistema, realizando pruebas sencillas comprobando el funcionamiento básico de cada componente. La etapa de instrumentación compuesta por tres sensores; de proximidad por infrarrojo E18-D8NK, sensor medidor de flujo DN32 de 1.25 pulgadas y báscula electrónica. La etapa de adquisición de datos compuesta por el microcontrolador Arduino Mega 2560 con CH340 y el lector TF SPI/SDIO micro-sd. La etapa de comunicaciones compuesta por el módulo GSM/GPRS SIM-900 Shield. La etapa de alimentación compuesta por dos fuentes DC a 12 voltios y 3 Amperios.

7.2. Verificación y validación del correcto funcionamiento del prototipo del módulo de transmisión de datos inalámbrico

Se realizan pruebas de funcionamiento para él envío automático de SMS, con los datos de interés del productor, se anexa el código de las pruebas:

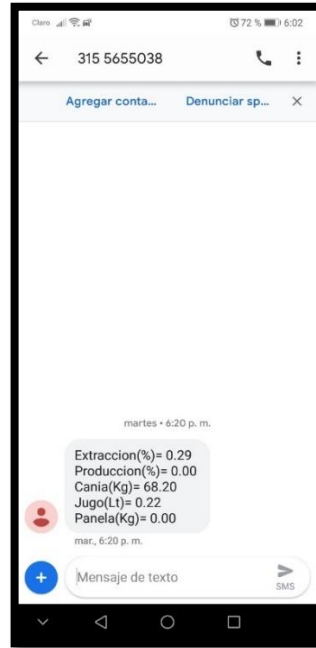
```
#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial SIM900 (5, 6);
String textForSMS;
float Ie=58.03, Ip= 98, Pc = 200, J=300;
unsigned long tanteriorsms = 0;

void setup ()
{
  tanteriorsms = millis();
  Serial.begin (9600);
  SIM900.begin (19200);
}

void sms ()
{
  if (millis() - tanteriorsms > 300000)//5 minutos
  {
    tanteriorsms = millis(); // actualiza el tiempo
    SIM900.print ("AT+CMGF=1\r");
    delay (1000);
    SIM900.println ("AT + CMGS = \"+573204743688\"");
    delay (1000);
    SIM900.print ("Extraccion(%)= ");SIM900.println(Ie);
    SIM900.print ("produccion(%)= ");SIM900.println(Ip);
    SIM900.print ("cania(Kg)= ");SIM900.println(Pc);
    SIM900.print ("jugo(Lt)= ");SIM900.println(J);
    delay (1000);
    SIM900.println((char) 26);
    delay (100);
    SIM900.println ();
  }
}
```

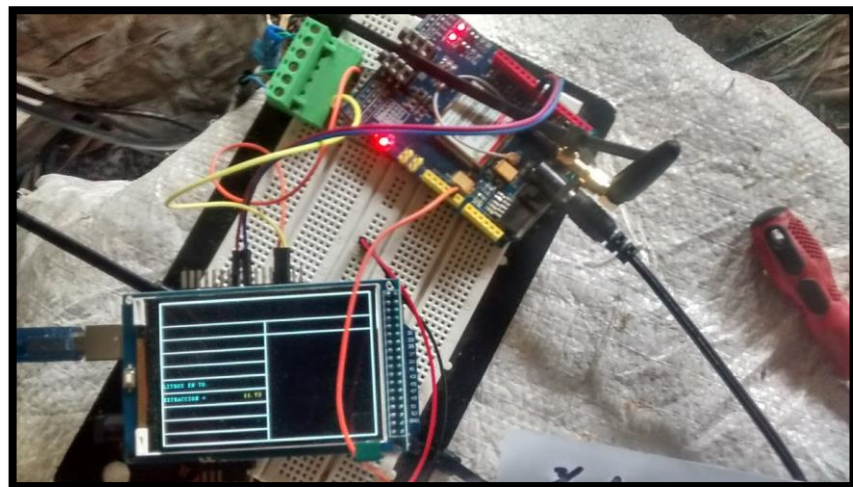
```
    delay (5000);  
  }  
}  
void loop ()  
{  
  sms ();  
}
```

Imagen 55. Evidencia recepción SMS.



Fuente 68. Autor.

Imagen 56. Evidencia módulo de comunicaciones.



Fuente 69. Autor.

7.3. Verificación y validación de la etapa de instrumentación y sistema de adquisición de datos (DAQ)

Se realiza la recolección de datos mediante la etapa de instrumentación y adquisición de datos que son visualizados en pantalla, cotejando los resultados con elementos de comparación.

7.3.1. Sensor de proximidad por infrarrojo E18-D8NK

Para la verificación y validación de este elemento se elaboró una serie de conteos de objetos ubicados a 10 centímetros del sensor. No se detectó anomalía alguna.

Imagen 57. Evidencia sensor de proximidad.



Fuente 70. Autor.

7.3.2. Sensor medidor de flujo DN32 de 1.25 pulgadas

Para la validación y verificación de este elemento se realizó una prueba de caudal, consistió en adaptar una caneca de pintura con una salida de pulgada y cuarto, llenando con agua al nivel de la salida de caudal simulando el pre limpiador utilizado en el proceso panelero, y con un balde marcado para medir y contener 10 litros de agua se efectúa el vertimiento del agua hasta que el sensor determine el conteo de 10 litros de líquido, se repite la prueba hasta calibrar el sensor.

Imagen 58. Evidencia prueba de sensor de flujo.



Fuente 71. Autor.

7.3.3. Báscula electrónica

Se modifica una báscula electrónica de baño que permitió obtener el dato y enviarlo al módulo principal, la validación de este elemento se dio realizando el peso con distintos discos de 5kg.

Imagen 59. Evidencia prueba báscula electrónica.



Fuente 72. Autor.

7.4. Validación del software o algoritmo que permita la interacción con el modulo, toma de datos e implementación de la etapa para registro histórico de datos

Se anexa el software final compilado y subido al microcontrolador, para iniciar las pruebas del prototipo. Se adiciono el lector TF SPI/SDIO micro-sd, obteniendo datos históricos de lo censado:

```
////////////////////////////////////
////////
#include <SD.h> //libreria sd
#include <math.h> //libreria matematica
#include <UTFT.h> //libreria pantalla
#include <Wire.h> //incluye las interrupciones
#include <SoftwareSerial.h> //libreria pines como puerto serial

File myFile; // variable de manipulacion de libreria sd
UTFT myGLCD(HX8357B, 38, 39, 40, 41); //pines de pantalla y controlador
SoftwareSerial SIM900 (5, 6); //activacion de pines 5 y 6 como seriales

extern uint8_t SmallFont[]; // tamaño de letra
int infrarrojo_A = 3, infrarrojo_B = 4, cont = 0, estado_A = 0, estado_B =
0, peso_bagazo = 0; //sensor y variables de bagazo
byte temp = 0; // cambio de flanco para ejecutar rutinas
int caudalimetro = 2, litros_hora; //sensor y variable de caudal
volatile int pulsos = 0;
unsigned long tiempoAnterior = 0, tanteriorsms = 0, pulsosAcumulados = 0,
tanteriorsd = 0, tiempo = 0;
float litros;
String textForSMS;
float peso_jugo = 0, peso_cana = 0, Ie = 0, peso_panels = 0, peso_actual =
0, Ip = 0;
const int cp = 9.25; //densidad del jugo de caña de azucar

////////////////////////////////////
////////
void flujo()
{
  pulsos++; // Incrementa en una unidad el número de pulsos
}

////////////////////////////////////
////////
void setup()
{
  iniciar_pantalla();
  activar_infrarrojo();
  activar_caudal();
  activar_sd();
  activar_SIM900();
}

////////////////////////////////////
////////
void loop()
```

```

{
  indice_de_extraccion();
  guardar();
  sms();
}
////////////////////////////////////
////////////////////////////////////
void activar_SIM900()
{
  tanteriorsms = millis();
  SIM900.begin (19200);
  Serial.begin(9600);
}
//-----
-----
void activar_caudal()
{
  pinMode(caudalimetro, INPUT_PULLUP);
  interrupts();
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(caudalimetro), flujo, RISING);
  tiempoAnterior = millis();
}
//-----
-----
void activar_infrarrojo()
{
  pinMode(infrarrojo_A, INPUT); //pin configurado como entrada
  pinMode(infrarrojo_B, INPUT); //pin configurado como entrada
}
//-----
-----
void sms()
{
  if (millis() - tanteriorsms > 300000) //5 minutos
  {
    tanteriorsms = millis(); // actualiza el tiempo
    SIM900.print ("AT+CMGF=1\r");
    delay (1000);
    SIM900.println("AT + CMGS = \"+573204743688\"");
    delay (1000);
    SIM900.print ("Extraccion(%)= "); SIM900.println(Ie);
    SIM900.print ("Produccion(%)= "); SIM900.println(Ip);
    SIM900.print ("Cania(Kg)= "); SIM900.println(peso_cana);
    SIM900.print ("Jugo(Lt)= "); SIM900.println(litros);
    SIM900.print ("Panela(Kg)= "); SIM900.println(peso_panela);
    delay (1000);
    SIM900.println((char) 26);
    delay (100);
    SIM900.println();
    delay (5000);
  }
}
//-----
-----

```

```

void indice_de_extraccion()
{
    estado_A = digitalRead(infrarrojo_A);
    estado_B = digitalRead(infrarrojo_B);
    //si existe deteccion de objeto//
    if (estado_A == LOW && estado_B == LOW)
    {
        cont ++;
        peso_bagazo = cont * 17;
        while (estado_A == LOW && estado_B == LOW) {
            estado_A = digitalRead(infrarrojo_A);
            estado_B = digitalRead(infrarrojo_B); //bucle antirebote
            // rutina para imprimir cada segundo los datos
            if (millis() - tiempoAnterior > 1000)
            {
                temp = 1;
                // calculos de caudal
                tiempoAnterior = millis(); // actualiza el tiempo
                pulsosAcumulados += pulsos; // pulsos acumulados
                litros_hora = (pulsos * 60 / 7.5); // caudal
                litros = (pulsosAcumulados * 1.0 / 45)*2; // 450 pulsos = 1 litro
                pulsos = 0; // pulsos de nuevo a cero
                if (Serial.available() > 0)
                {
                    String str = Serial.readStringUntil('\n');
                    float peso = str.toFloat();
                    peso_actual = peso;
                    peso_panela = peso_panela + peso;
                }
                pantalla();
            }
            temp = 0;
        }
    }
    // rutina para imprimir cada segundo los datos
    if (millis() - tiempoAnterior > 1000)
    {
        // calculos de caudal
        tiempoAnterior = millis(); // actualiza el tiempo
        pulsosAcumulados += pulsos; // pulsos acumulados
        litros_hora = (pulsos * 60 / 7.5); // caudal
        litros = (pulsosAcumulados * 1.0 / 45) * 2; // 450 pulsos = 1 litro
        pulsos = 0; // pulsos de nuevo a cero
        if (Serial.available() > 0)
        {
            String str = Serial.readStringUntil('\n');
            float peso = str.toFloat();
            peso_actual = peso;
            peso_panela = peso_panela + peso;
        }
        pantalla();
    }
}
if (cont >= 0)
{

```

```

    peso_jugo = (litros * cp) / 10;
    peso_cana = peso_jugo + peso_bagazo;
    Ie = (peso_jugo / peso_cana) * 100;
    Ip = (peso_panela / peso_cana) * 1000;
  }
}
//-----
-----

//-----
-----

void pantalla()
{
  myGLCD.setColor(0, 0, 255);
  myGLCD.setBackColor(255, 255, 255);
  myGLCD.print ("%", 218, 212);
  myGLCD.print ("Kg", 218, 242);
  myGLCD.print ("Kg", 218, 272);
  myGLCD.print ("Kg", 218, 302);
  myGLCD.print ("Kg", 218, 122);
  myGLCD.print ("%", 457, 62);
  myGLCD.print ("Kg", 457, 92);
  myGLCD.printNumI (cont, 160, 92);
  myGLCD.printNumI (peso_bagazo, 160, 122);
  myGLCD.printNumI (litros_hora, 160, 152);
  myGLCD.printNumF (litros, 2, 160, 182);
  myGLCD.printNumF (Ie, 2, 160, 212);
  myGLCD.printNumF (peso_panela, 2, 160, 242);
  myGLCD.printNumF (peso_actual, 2, 160, 272);
  myGLCD.printNumF (peso_cana, 2, 160, 302);
  myGLCD.printNumF (Ip, 2, 400, 62);
  myGLCD.printNumF (peso_jugo, 2, 400, 92);

  myGLCD.setColor(255, 255, 255);
}
//-----
-----

void activar_sd()
{
  Serial.print("Iniciando SD ...");
  if (!SD.begin(53))
  {
    Serial.println("No se pudo inicializar");
    return;
  }
  Serial.println("inicializacion exitosa");

  if (!SD.exists("datalog.csv"))
  {
    myFile = SD.open("datalog.csv", FILE_WRITE);
    if (myFile)
    {
      Serial.println("Archivo nuevo, Escribiendo encabezado(filas 1)");
    }
  }
}

```

```

        myFile.println("Tiempo(ms), Sensor1, Sensor2, Sensor3");
        myFile.close();
    }
    else
    {
        Serial.println("Error creando el archivo datalog.csv");
    }
}
}
//-----
void guardar()
{
    if (millis() - tanteriorasd > 1000)
    {
        tanteriorasd = millis();
        myFile = SD.open("datalog.csv", FILE_WRITE); //abrimos el archivo
        if (myFile)
        {
            float sensor1 = peso_bagazo;
            float sensor2 = litros;
            float sensor3 = peso_panela;

            myFile.print(millis());
            myFile.print(",");
            myFile.print(sensor1);
            myFile.print(",");
            myFile.print(sensor2);
            myFile.print(",");
            myFile.println(sensor3);

            myFile.close(); //cerramos el archivo
        }
        else
        {
            Serial.println("Error al abrir el archivo");
        }
    }
}
//-----
void iniciar_pantalla()
{
    myGLCD.InitLCD();
    myGLCD.clrScr();
    myGLCD.setFont(SmallFont);
    //diseño de el entorno-----
    myGLCD.setBackColor(255, 255, 255); //Fija el color del fondo
    myGLCD.fillRect(2, 2, 478, 52); //RECTANGULO PRESENTACION

    myGLCD.fillRect(2, 54, 237, 82); //RECTANGULO TITULO 1
    myGLCD.fillRect(2, 84, 237, 112); //RECTANGULO PARAMETRO 1
    myGLCD.fillRect(2, 114, 237, 142); //RECTANGULO PARAMETRO 2
    myGLCD.fillRect(2, 144, 237, 172); //RECTANGULO PARAMETRO 3
}

```

```

myGLCD.fillRect(2, 174, 237, 202); //RECTANGULO PARAMETRO 4
myGLCD.fillRect(2, 204, 237, 232); //RECTANGULO PARAMETRO 5
myGLCD.fillRect(2, 234, 237, 262); //RECTANGULO PARAMETRO 6
myGLCD.fillRect(2, 264, 237, 292); //RECTANGULO PARAMETRO 7
myGLCD.fillRect(2, 294, 237, 318); //RECTANGULO PARAMETRO 8

myGLCD.fillRect(239, 54, 478, 82); //RECTANGULO PARAMETRO 9
myGLCD.fillRect(239, 84, 478, 112); //RECTANGULO PARAMETRO 10
myGLCD.fillRect(239, 114, 478, 142); //RECTANGULO PARAMETRO 11
myGLCD.fillRect(239, 144, 478, 172); //RECTANGULO PARAMETRO 12
myGLCD.fillRect(239, 174, 478, 202); //RECTANGULO PARAMETRO 13
myGLCD.fillRect(239, 204, 478, 232); //RECTANGULO PARAMETRO 14
myGLCD.fillRect(239, 234, 478, 262); //RECTANGULO PARAMETRO 15
myGLCD.fillRect(239, 264, 478, 292); //RECTANGULO PARAMETRO 16
myGLCD.fillRect(239, 294, 478, 318); //RECTANGULO PARAMETRO 16

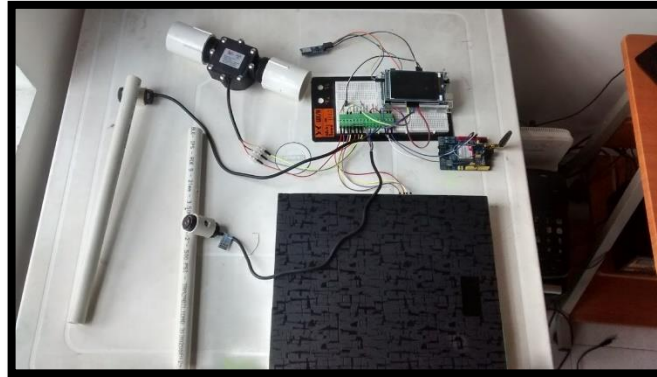
//presentacion inicial-----
myGLCD.setColor(182, 200, 25);
myGLCD.setBackColor(255, 255, 255);
myGLCD.print ("UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA", CENTER, 6);
myGLCD.print ("STM-PANELA VERSION 2 LITE", CENTER, 21);
myGLCD.print ("GIGATT", CENTER, 36);
myGLCD.setColor(255, 0, 255);
myGLCD.setBackColor(255, 255, 255);
myGLCD.print ("VARIABLES", 80, 62);
//mostrando los datos obtenidos-----
myGLCD.setColor(255, 0, 0);
myGLCD.setBackColor(255, 255, 255);
myGLCD.print ("CANECAS BAGAZO = ", 4, 92);
myGLCD.print ("BAGAZO = ", 4, 122);
myGLCD.print ("JUGO L/H = ", 4, 152);
myGLCD.print ("TOTAL LITROS = ", 4, 182);
myGLCD.print ("EXTRACCION = ", 4, 212);
myGLCD.print ("PESO PANELA = ", 4, 242);
myGLCD.print ("PESO ACTUAL = ", 4, 272);
myGLCD.print ("PESO CANA = ", 4, 302);
myGLCD.print ("PRODUCCION = ", 241, 62);
myGLCD.print ("PESO JUGO = ", 241, 92);
}

```


7.5. Verificación y validación del prototipo completo de transmisión de datos inalámbrico

Se realizó pruebas de laboratorio con el equipo ensamblado en su totalidad simulando condiciones industriales y físicas de los procesos de elaboración de panela.

Imagen 60. Evidencia prueba prototipo ensamblado.

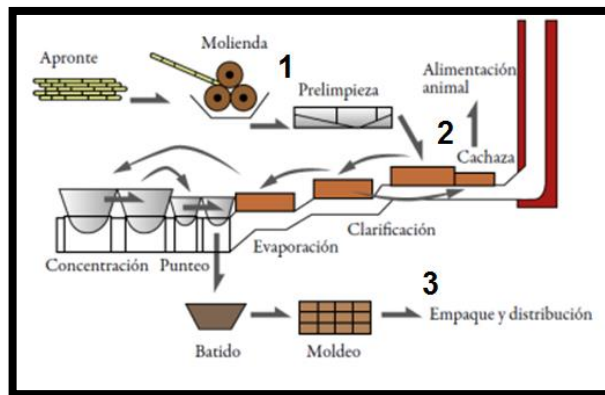


Fuente 73. Autor.

7.6. Instalación en el lugar de producción, según criterios dados por el productor y parámetros establecidos anteriormente. (TRAPICHE 1 UTICA)

La instalación del prototipo se realizó en los puntos evaluados por el grupo de investigación con la ayuda del productor, la interferencia en el proceso fue mínima.

Imagen 61. Diagrama de la ubicación de los sensores.



Fuente 74. Google imágenes.

En la imagen se aprecia la ubicación en el proceso de cada sensor; 1. Sensor detector de movimientos, 2. Sensor de flujo, 3. Bascula electrónica.

7.7. Búsqueda de posibles fallas y solución de las mismas

Tabla 14. Problemas y soluciones en el sistema.

Falla	Solución
El sensor detector de objetos presentó desfases en conteo generando cantidades erróneas.	Se detectó que la no cobertura en algún tramo del cableado permitió interferencias electromagnéticas, se solucionó con el encintado de todo los tramos, se adicionó otro sensor generando precisión en el conteo.
Sensor de flujo presentó taponamiento, por los sedimentos y partículas inherentes en el jugo de caña de azúcar.	La dinámica de fluidos mediante el uso de aspas mecánicas presento un inconveniente con el líquido a evaluar, se solucionó retirando el sensor y limpiándolo, se aconseja para trabajos futuros sensores de flujo robustos.
El módulo de comunicaciones GSM, no envió los datos al usuario.	Alimentar el modulo con una fuente de voltaje independiente aseguró el correcto envío del SMS al usuario.

Fuente 75. Autor.

Imagen 62. Evidencia de taponamiento de sensor de flujo.



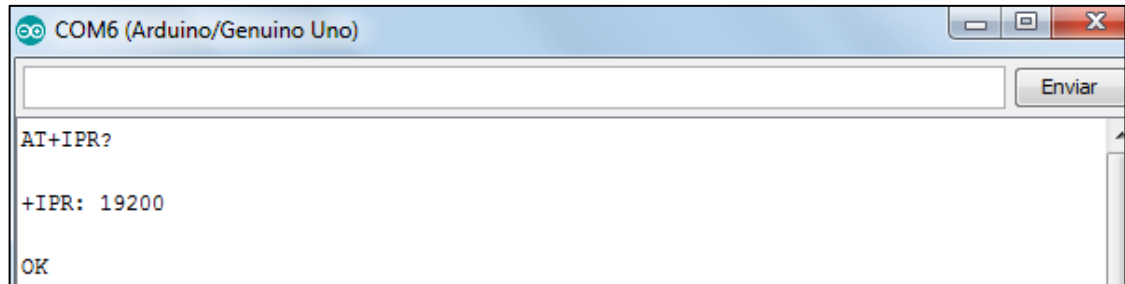
Fuente 76. Autor.

7.8. Análisis de la eficiencia del módulo de comunicaciones a partir de la medición de parámetros de calidad del servicio (QoS)

Se sometió el módulo de comunicaciones a una serie de pruebas mediante comandos AT y el monitor serial herramienta de Arduino.

Frecuencias iguales.

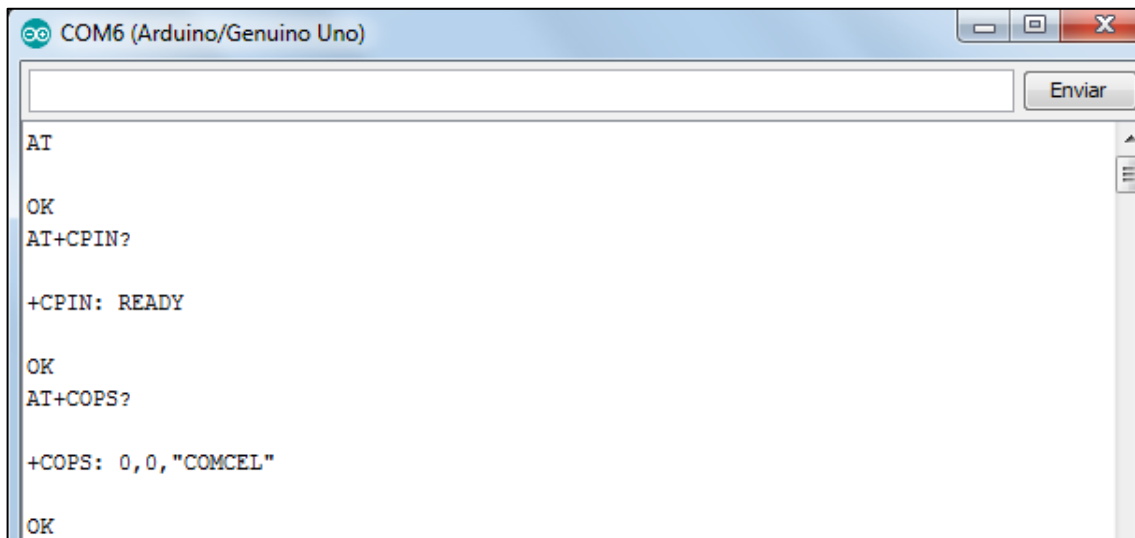
Imagen 63. Pruebas AT frecuencia.



Fuente 77. Autor.

Rango de redes de conexión, operador con mayor intensidad.

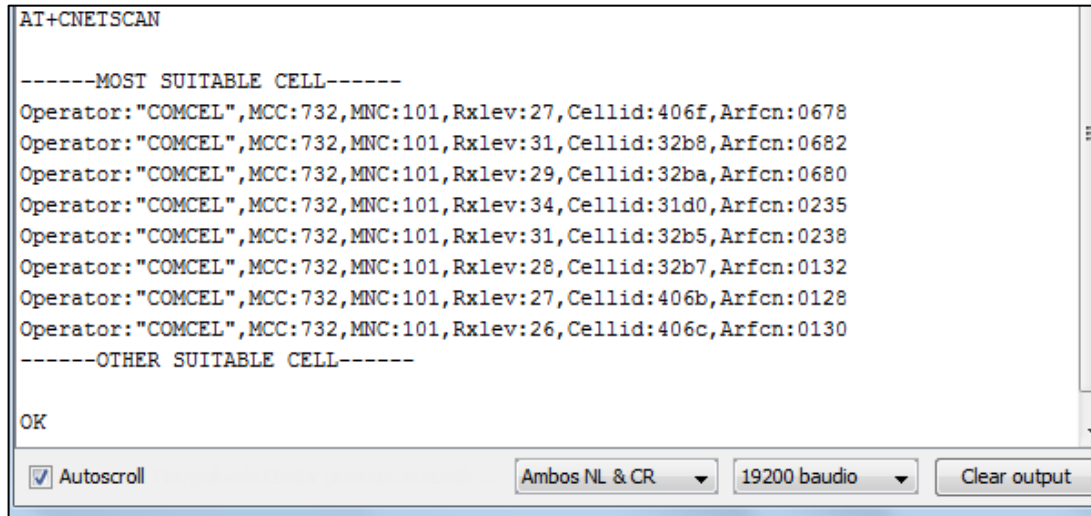
Imagen 64. Pruebas AT intensidad.



Fuente 78. Autor.

Operadores con mayor intensidad.

Imagen 65. Pruebas AT cobertura.



Fuente 79. Autor.

7.9. Análisis de cargas del trapiche panelero, diseño e implementación del sistema fotovoltaico que alimente el prototipo y el sistema de iluminación en el trapiche

El análisis de cargas es descrito en el capítulo 4 subcapítulo 4.2.

7.10. Análisis de la medición de grados Brix en el proceso previo al corte de la caña de azúcar

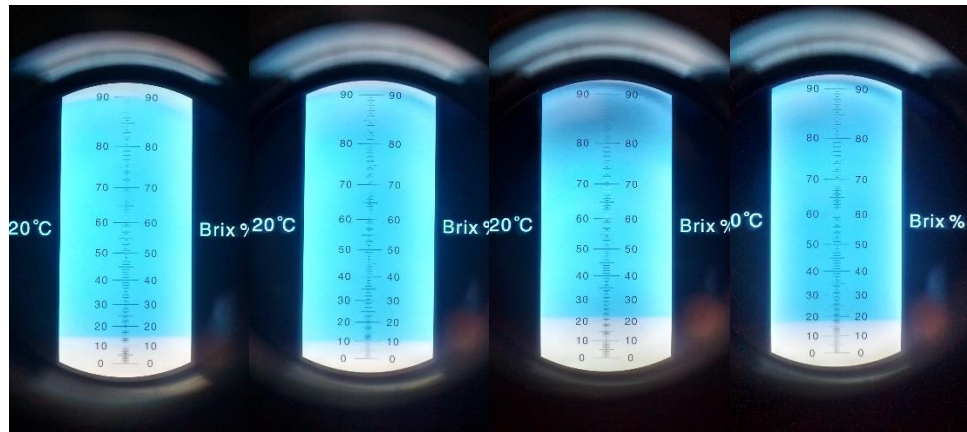
Previo al corte de caña se realizó la toma de mediciones con el refractómetro, se obtuvo índice de madurez.

Tabla 15. Índice de madurez.

Muestra	Basal	Apical	Madurez	Diagnostico
1	15°Bx	10°Bx	66.66 %	Inmadura
2	21°Bx	18°Bx	85.71 %	Madura

Fuente 80. Autor.

Imagen 66. Evidencia uso de refractómetro para índice de maduración.




Fuente 81. Autor.

En el proceso se tomaron muestras de azúcar en el jugo de caña, datos contenidos en el capítulo 5 subcapítulo 5.4.


7.11. Realización y postulación de un artículo científico

Imagen 67. Evidencia postulación de artículo científico.



VI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERIA

Fusagasugá - Colombia 2017



PROTOTIPO DE UN SISTEMA DE TELEMETRÍA COMO HERRAMIENTA ALTERNATIVA BASADA EN TIC, PARA EL MONITOREO DE VARIABLES RELACIONADAS CON EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE PANELA.

Karen Calderón Rodríguez ⁽¹⁾, Neil Gutiérrez López ⁽²⁾, Angel Raul Vera ⁽³⁾, Cesar A. Casas Diaz ⁽⁴⁾, Yimi García Vera ⁽⁵⁾, Faider Humberto Barrero ⁽⁶⁾, Leonardo Rodríguez Mujica ⁽⁷⁾

(1) Estudiante de Ingeniería Electrónica y auxiliar de Investigación Grupo GIGATT Universidad de Cundinamarca
(2) Estudiante de Ingeniería Electrónica y auxiliar de Investigación Grupo GIGATT Universidad de Cundinamarca
(3) Estudiante de Ingeniería Electrónica y auxiliar de Investigación Grupo GIGATT Universidad de Cundinamarca

Universidad de Cundinamarca, Calle, N° 18 #20-29, Fusagasugá, Colombia.
Autor para correspondencia: ingccasas@gmail.com

Por tradición Colombia es un país consumidor de panela, lo que conlleva también a que la producción de dicho alimento sea un proceso importante en la economía y que genera empleos y ganancias en muchos departamentos, siendo el segundo país productor después de la India, específicamente en pequeñas zonas rurales, donde las familias se integran haciendo la fabricación de manera artesanal, sin ningún tipo de tecnificación en el proceso ni en el lugar de elaboración.

A partir de lo anterior surge la necesidad de apoyar el proceso con tecnologías de la información y comunicación (TIC), a través de un sistema de telemetría con el fin de monitorear variables relevantes en el proceso, enviándolas al productor e igualmente haciéndolas visibles en el lugar de fabricación del producto, lo cual permite hallar errores y corregirlos a tiempo. El prototipo se integra de un módulo de instrumentación en el cual los sensores leen las variables y otro de comunicación para él envió de la información que consta de un Shield SIM900 que trabaja con tecnología GSM; el control y procesamiento de datos se realiza mediante Arduino Mega 2560 y se brinda también visualización en pantalla LCD y almacenamiento en SD de la información. Adicionalmente se integra un sensor de pH esto con el fin de dar a conocer el nivel de la acidez de los jugos a un determinado valor de pH para prevenir los azúcares reductores y se realiza un análisis de grados Brix, los cuales nos indican el porcentaje de sacarosa disuelta en cierta cantidad de jugo de caña de azúcar, previo al corte de caña de azúcar y también durante el proceso de producción de panela esto se realiza con la finalidad de conocer aproximadamente la cantidad o porcentaje de azúcar que tendrá el producto final (panela) y así conllevar a una mejor calidad del producto.

El sistema permite a los productores tener un punto de comparación partiendo de su experiencia empírica y de esta manera mejorar la calidad en el producto.

Palabras clave: Grados brix, instrumentación, nivel pH, panela, telemetría.

Fuente 82. Autor.

REFERENCIAS

- [1] M. Restrepo Salas, *Empaque Para La Comercialización De La Panela Redonda Tipo Exportación Hacia Los Estados Unidos*, Pereira: Universidad Católica de Pereira, 2013.
- [2] L. L. Ubaque Gonzales, *Gestión En La Producción Panelera*, Municipio De Villeta. Cundinamarca, Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, 2013.
- [3] PCE Instruments Chile SA, *Refractómetro De Mano, Instrumentos De Medición Óptica De Mano Para Concentración*, Qulicura, Santiago De Chile: PCE Instruments.
- [4] Gobernacion De Cundinamarca, «Alcaldía Municipal De Utica,» 8 Mayo 2018. [En línea]. Available: <http://www.utica-cundinamarca.gov.co/municipio/nuestro-municipio>. [Último acceso: 20 Septiembre 2018].
- [5] S. Pineda Hoyos, «Planes De Competitividad Y Desarrollo Económico Incluyente En Cinco (5) Provincias De Cundinamarca: Bajo Magdalena, Magdalena Centro, Gualivá, Rionegro Y Medina,» Universidad del Rosario, Bogotá, 2011.
- [6] S. A. Mosquera, J. E. Carrera y H. S. Villada, «Variables Que Afectan La Calidad De La Panela Procesada En El Departamento Del Cauca,» *Facultad de Ciencias Agropecuarias*, vol. 5, nº 1, 2007.
- [7] Portal Oficial De Inversión De Colombia, «Agroindustria,» Procolombia, 2016. [En línea]. Available: <http://www.inviertaencolombia.com.co/sectores/agroindustria.html>. [Último acceso: 20 Septiembre 2018].
- [8] J. M. Toro Monsalve, «La Panela, Con Espacio En La Agroindustria,» *El Diario*, 29 Agosto 2016.
- [9] K. Peña, C. Casas, O. Diaz y Y. Garcia, «Prototipo De Un Sistema De Telemetría Basado En Tic Para El Monitoreo De Variables Relacionadas Con La Producción De Panela,» *ENGI Revista Electrónica De La Facultad De Ingeniería*, vol. 3, 2013.
- [10] M. M. Mascietti, *Panela: Propiedades, Información Y Nutrición*, Bariloche, (Argentina): Universidad Fasta, 2014.
- [11] El Mundo.Com, «Cultura,» 4 julio 2003. [En línea]. Available: http://www.elmundo.com/portal/cultura/cultural/la_panela.php#.WRsJLVQ18_5. [Último acceso: 20 Septiembre 2018].

- [12 Mantech Electronics International Components Distributor, Mantech Electronics, [En línea]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>. [Último acceso: 20 septiembre 2018].
- [13 F. Torres, *Clase 3 Sensores*, Alicante(España): Universidad De Alicante.
- [14 J. De Lope Asiaín, «Emisión Y Recepción De Infrarrojos,» Universidad Politecnica De Madrid, Madrid(España), 2001.
- [15 L. Ada, «Micro Sd Card Breakout Boiard Tutorial,» Estados Unidos, 2018.
- [16 R. A. De La Camara, «Arduino + Modulo Gsm/Gprs: Monitorización, Automatización Y Gestion Remota En Un Viñedo,» Universitat Oberta De Catalunya, Catalunya, 2017.
- [17 A. Jardón, S. Marini y A. Oliva, *Hidrostática Hidrodinámica*, Rosario(Argentina): Universidad Nacional del Rosario.
- [18 Ministerio De Agricultura, «Agronet,» 03 Marzo 2015. [En línea]. Available: <http://www.agronet.gov.co/Noticias/Paginas/Noticia1304.aspx>. [Último acceso: 15 Septiembre 2017].
- [19 J. d. J. Cañizares Arevalo, «Tecnificación De La Agroindustria Panelera: Alternativa De Empleabilidad De Ingresos En Convencion N de S,» *INGENIO UFPSO*, vol. 8, 2015.
- [20 J. M. Corrales Suárez, J. M. Gil Ortiz, P. D. Remédios Castañeiras, Y. Masjuan Leyva y J. A. Gil Ceballo, «Operación De Los Molinos Del Tándem Cañero A Dos Niveles De Presión Hidráulica,» *Ingeniería Investigación y Tecnología*, pp. 123-130, 2015.
- [21 F. Garelli, M. Ramírez, A. Domínguez y M. Angulo, «Simulación De Un Algoritmo Para Controlar El Nivel En Tolva Ante Alimentación Discontinua De Caña,» *Revista Iberoamericana De Automatica E Informatica Industrial*, vol. 6, nº 3, p. 54 a 60, 2009.
- [22 R. Lamanna, P. Vega, S. Revollar y H. Alvarez, «Diseño Simultáneo De Proceso Y Control De Una Torre Sulfitadora De Jugo De Caña De Azucar,» *Revista Iberoamericacana De Automatica e Informatica Industrial*, vol. 6, nº 3, pp. 32-43, 2009.
- [23 J. Ramirez y E. R. , «Modelado Y Control De Molinos De Caña De Azucar Usando Accionamientos Electricos,» *Revista Iberoamericana De Automatica E Informatica Industrial*, vol. 6, nº 3, pp. 44-53, 2009.

- [24 J. C. Cruz Ardila, J. C. Cardona Gómez y D. M. Hernández Porras, «Aplicación
] Electrónica Para El Ahorro De Energía Eléctrica Utilizando Una Energía
Alternativa,» *Red De Revistas Científicas De América Latina, El Caribe,
España Y Portugal*, vol. 9, nº 2, 2013.
- [25 C. G. Rodriguez Borges y A. Sarmiento Sera, «Dimensionado Mediante
] Simulación De Sistemas De Energía Solar Fotovoltaica Aplicados A La
Electrificación Rural,» *Ingeniería Mecánica*, vol. 14, nº 1, pp. 13-21, 2011.
- [26 H. Rodriguez Murcia, «Desarrollo De La Energía Solar En Colombia Y Sus
] Perspectivas,» *Revista De Ingeniería*, nº 28, 2008.
- [27 R. Gomez Arreola, A. Quevedo Nolasco, M. Castro Popoca, A. Bravo Vinaja y
] D. Reyes Muñoz, «Design, Construction And Evaluation Of A Solar Tracking
System For A Photovoltaic Panel,» *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*,
vol. 6, nº 18, pp. 1715-1727, 2015.
- [28 J. E. Larrahondo , *Calidad De La Caña De Azucar*, Cali: Cenicaña, 1995.
]
- [29 W. F. Quezada Moreno, *Guia Tecnica De Agroindustria Panelera*, Ibarra
] (Ecuador), 2007.
- [30 G. Osorio Cadavid, *Buenas Prácticas Agrícolas (Bpa) Y Buenas Prácticas De
] Manufactura (BPM) En La Producción De Caña Y Panela*, Medellin (Antioquia),
2007.
- [31 F. Rueda Calier, L. A. Peñaranda Mallungo, W. . L. Velásquez Vargas y S. A.
] Díaz Báez, «Aplicación De Una Metodología De Análisis De Datos Obtenidos
Por Percepción Remota Orientados A La Estimación De La Productividad De
Caña Para Panela Al Cuantificar El Ndvi (Índice De Vegetación De Diferencia
Normalizada),» *Corpoica. Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, vol. 16, nº 1, pp.
25-40, 2015.
- [32 C. Lopez Hernandez, *Monografía Político Electoral Departamento De
] Cundinamarca 1997 A 2007*, Bogotá: Observatorio de Democracia de la Misión
de Observación Electoral, 2008.
- [33 C. A. Casas Díaz, Y. E. García Vera, F. H. Barrero Sanchez , B. Bernate y O.
] D. Díaz Castillo, «Informe Técnico De Avance No. 06,» *Universsidad De
Cundinamarca, Fusagasugá*, 2015.