

**PLATAFORMA DE MEDICIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN
EL PROCESO DE BENEFICIADO DE CAFÉ.**



FUNDACIÓN
**UNIVERSITARIA
DE POPAYÁN**
35 ANIVERSARIO

Edwin Salamanca Obando
Wilson Alberto Erazo Rivadeneira

Tesis para proyecto de grado

Director:

Cristian Méndez Rodríguez, (c) Ph.D, M.Sc.

Fundación Universitaria de Popayán
Facultad de Ingeniería
Línea de Investigación: ingeniería de la investigación
Popayán, octubre de 2019

EDWIN SALAMANCA OBANDO
WILSON ALBERTO ERAZO RIVADENEIRA

**PLATAFORMA DE MEDICIÓN DEL CONSUMO DE
ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL PROCESOS DE
BENEFICIADO DEL CAFÉ**

Trabajo de grado presentado a la Facultad de Ingeniería
de la Fundación Universitaria de Popayán
para obtener el título de

Ingeniero de Sistemas

Director:

CRISTIAN MÉNDEZ RODRÍGUEZ, (c) Ph.D, M.Sc.

Popayán

2019

TRABAJO DE GRADO

**PLATAFORMA DE MEDICIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA
ELÉCTRICA EN EL PROCESO DE BENEFICIADO DE CAFÉ**

Autores:

EDWIN SALAMANCA OBANDO

WILSON ALBERTO ERAZO RIVADENEIRA

Director:

CRISTIAN MÉNDEZ RODRIGUEZ, (c) Ph.D, M.Sc.

Director: _____

Jurado 1: _____

Jurado 2: _____

Popayán, 24, de Octubre de 2019

Dedicatoria

Edwin salamanca Obando.

El presente trabajo está dedicado a Dios, por ser quien me dio la vida para cumplir una de mis metas, a mis padres por todo el esfuerzo y confianza depositada en mí, a mis abuelos por ser mi inspiración, y a mi hermana por ser mi apoyo incondicional. Sin ellos todo este trabajo no habría sido posible.

Wilson Alberto Erazo Rivadeneira

Este proyecto está dedicado a mis padres Luis Alberto y Rosario quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer a las adversidades porque Dios está conmigo siempre.

Resumen

En los últimos años el sector agrícola ha incluido maquinaria en sus procesos, trayendo consigo la dependencia de fuentes de energía, especialmente eléctrica. De esta manera, la gestión del consumo de energía eléctrica se ha convertido en una herramienta primordial para ayudar a la competitividad y sostenibilidad (eco-tecnológica) de los sistemas agroindustriales. En la agricultura colombiana, históricamente se ha destacado la producción de café, siendo este país actualmente el tercer productor a nivel mundial. Gracias a esta dinámica, existen fincas cafeteras que han convertido sus sistemas agrícolas en pequeñas agroindustrias, contando con una cantidad considerable de maquinaria, principalmente en el proceso de beneficio de café. Este proceso consiste en un conjunto de operaciones que transforman los frutos de café (café cerezo), en café pergamino seco. El propósito de este trabajo fue desarrollar una solución basada en Internet de las Cosas (IoT) que permita monitorear el consumo de energía eléctrica en el proceso de beneficio de café en una finca tecnificada. Para ello, inicialmente se caracterizó el proceso de beneficio de café en relación a los consumos significativos de energía eléctrica, y en segunda instancia se diseñó una aplicación IoT para registrar los consumos energéticos. En conclusión, la solución IoT propuesta es una alternativa viable que permitirá monitorear el gasto energético en el proceso de beneficiado de café. A futuro se realizará un análisis de los datos tomados sobre consumo de electricidad en el proceso de beneficiado de café, para contribuir al proceso de toma de decisiones en la finca

Palabras clave: Internet de las Cosas (IoT), beneficiado de café, consumo energético, sistema agrícola.

Abstract

In recent years the agricultural sector has included machinery in its processes, bringing dependence on energy sources, especially electricity. In this way, the management of electricity consumption has become a primary tool to help the competitiveness and sustainability (eco-techno-environmental) of agribusiness systems. In Colombian agriculture, coffee production has historically stood out, being this country currently the third largest producer worldwide. Thanks to this dynamic, there are coffee farms that have turned their agricultural systems into small agribusinesses, with a considerable amount of machinery, mainly in the process of benefiting coffee. This process consists of a set of operations that transform the fruits of coffee (cherry coffee), into dry parchment coffee. The purpose of this work was to develop a solution based on the Internet of Things (IoT) that allows monitoring the consumption of electricity in the process of benefiting coffee in a technified farm. To this end, the coffee benefit process was initially characterized in relation to the significant consumption of electric energy, and in the second instance an IoT application was designed to record energy consumption. In conclusion, the proposed IoT solution is a viable alternative that will allow monitoring energy expenditure in the coffee beneficiary process. In the future, an analysis of the data taken on electricity consumption in the coffee beneficiary process will be carried out, to contribute to the decision-making process on the farm.

Keywords: Internet of Things (IoT), benefited from coffee, energy consumption, agricultural system.

Tabla de contenido

| | |
|--|----|
| CAPITULO I: INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| CAPITULO II: ESTADO DEL ARTE | 4 |
| 2.1. Estudios en E.E: Mapeo Sistemático. | 4 |
| 2.2. Identificación de brechas de conocimiento..... | 7 |
| CAPITULO III: MARCO TEÓRICO | 9 |
| 3.1. Proceso productivo agrícola de café | 9 |
| 3.1.1. Siembra | 9 |
| 3.1.2. Cosecha | 9 |
| 3.1.3. Beneficio..... | 10 |
| 3.1.4. Secado | 10 |
| 3.1.5. Trillado..... | 10 |
| 3.2. Internet de las cosas (IoT)..... | 11 |
| 3.3. Consumo de energía Eléctrica | 11 |
| 3.4. Plataforma..... | 11 |
| CAPITULO IV: CARACTERIZACIÓN PROCESO DE BENEFICIO DEL CAFÉ | 13 |
| 4.1. Etapas del beneficio del café | 13 |
| 4.1.1. Unidad de post-cosecha. | 13 |
| 4.1.2. Unidad de despulpado de café cereza. | 14 |
| 4.1.3. Unidad de fermentado de café en baba..... | 14 |
| 4.1.4. Unidad de lavado de café en baba | 15 |
| 4.1.5. Unidad de secado de café | 15 |
| 4.2. Descripción de los flujos en las etapas de beneficio de café | 18 |
| 4.3. Tablas y datos técnicos de quipos empleados en el beneficio de café | 20 |
| 4.3.1. Elevador de cangilones tolva..... | 20 |
| 4.3.2. Tanque sifón..... | 21 |
| 4.3.3. Zaranda separadora de grano | 21 |
| 4.3.4. Multiscam | 22 |
| 4.3.5. Despulpadoras..... | 23 |
| 4.3.6. Tornillo sinfín de pulpa..... | 24 |
| 4.3.7. Lavadores de café | 24 |
| 4.3.8. Desmucilagador | 25 |
| 4.3.9. Centrifuga | 26 |

| | | |
|---|--|----|
| 4.3.10. | Silo o secadora de café | 27 |
| 4.3.11. | Guardiola | 28 |
| 4.3.12. | Quemadores de cisco..... | 30 |
| 4.3.13. | Ventilador y turbo | 32 |
| 4.4. | Consumo eléctrico nominal línea de beneficiado | 33 |
| CAPITULO V: CONSTRUCCIÓN DE LA APLICACIÓN IOT | | 35 |
| 5.1. | Diseño de hardware | 36 |
| 5.1.1. | Sensor de corriente | 36 |
| 5.1.2. | Sensor de voltaje | 37 |
| 5.1.3. | Arduino Pro Mini | 38 |
| 5.1.4. | Transceptor | 39 |
| 5.1.5. | Raspberry pi 3. | 39 |
| 5.1.6. | Placa base electrónica..... | 41 |
| 5.2. | Diseño de software..... | 43 |
| 5.2.1. | Programa de Arduino..... | 43 |
| 5.2.2. | Base de datos..... | 43 |
| CAPITULO VI: DESARROLLO DE LA PLATAFORMA WEB IOT. | | 46 |
| 6.1. | Inicio web de la plataforma..... | 46 |
| 6.2. | Menú principal de la plataforma | 47 |
| 6.3. | Opción control | 47 |
| 6.4. | Opción reportes consumo de energía | 49 |
| CAPITULO VII: RESULTADOS..... | | 52 |
| 7.1. | Dispositivo final IoT de transmision | 52 |
| 7.2. | Funcionamiento del dispositivo IoT final..... | 53 |
| 7.3. | Pruebas de transmisión y recepción del dispositivo IoT | 55 |
| 7.4. | Plataforma web IoT pruebas..... | 55 |
| CONCLUSIONES..... | | 57 |
| BIBLIOGRAFIA | | 58 |
| ANEXOS | | 60 |
| ANEXO 1. Circuito Esquemático del monitor de consumo de energía. | | 60 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Descripción de los flujos en las etapas de beneficio de café - Finca los Naranjos, Cajibío, Supracafé..... | 18 |
| Tabla 2. Información técnica elevador de cangilones | 20 |
| Tabla 3. Tanque sifón | 21 |
| Tabla 4. Zaranda separadora de grano | 22 |
| Tabla 5. MultiScam | 22 |
| Tabla 6. Despulpadoras | 23 |
| Tabla 7. Tornillo sinfín..... | 24 |
| Tabla 8. Lavadores de café..... | 24 |
| Tabla 9. Desmucilaginador | 26 |
| Tabla 10. Centrifuga | 26 |
| Tabla 11. Silo o secadora de café 1..... | 27 |
| Tabla 12. Silo o Secadora de café 2 | 28 |
| Tabla 13. Guardiola 1 | 28 |
| Tabla 14. Guardiola 2 | 29 |
| Tabla 15. Quemador de cisco 1 | 30 |
| Tabla 16. Quemador de cisco 2..... | 30 |
| Tabla 17. Quemador de cisco 3..... | 31 |
| Tabla 18. Ventilador y turbo | 32 |
| Tabla 19. Consumo energético línea de beneficiado de café. Empresa Supracafé.. | 33 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Esquema de clasificación textos científicos..... | 5 |
| Figura 2. <i>Diagrama visualización del mapeo sistemático.</i> | 7 |
| Figura 3. Etapas del Proceso Productivo del Café. | 9 |
| Figura 4. Equipos usados en la etapa de beneficio de café. Finca los naranjos, Cajibío, Supracafe..... | 16 |
| Figura 5. Operaciones y flujos de subproductos en las etapas de beneficio y secado de café. Finca los Naranjos, Cajibío, Supracafe..... | 19 |
| Figura 6. Conexión plataforma IoT con los elementos | 35 |
| Figura 7. Sensor de Corriente SCT-013-000 | 36 |
| Figura 8. Sensor de Voltaje ZMPT101B | 37 |
| Figura 9. Arduino Pro Mini 3.3v/8MHz..... | 38 |
| Figura 10. Transceptor NRF24L01+..... | 39 |
| Figura 11. Raspberry Pi 3 B+ | 40 |
| Figura 12. Placa base..... | 42 |
| Figura 13. Placa base física | 43 |
| Figura 14. Diagrama de flujo para la conexión y envío de datos | 44 |

| | |
|--|----|
| Figura 15. Diagrama base de datos | 45 |
| Figura 16. Inicio web plataforma..... | 46 |
| Figura 17. Menú de opciones | 47 |
| Figura 18. Opciones control..... | 48 |
| Figura 19. Lista..... | 48 |
| Figura 20. Opciones consumo de energía..... | 50 |
| Figura 21. Selección maquina | 50 |
| Figura 22. Seleccion motor..... | 50 |
| Figura 23. Consumo de energía | 50 |
| Figura 24. Agregar maquinas | 51 |
| Figura 25. Dispositivo de transmisión IoT interior..... | 52 |
| Figura 26. Dispositivo de transmisión IoT final | 53 |
| Figura 27. Relación de datos entre herramientas estándar de medición eléctrica y el dispositivo IoT | 54 |
| Figura 28. Prueba de transmisión, Recepción de datos | 55 |
| Figura 29. Reporte consumo de energía eléctrica..... | 56 |

PLATAFORMA DE MEDICIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL PROCESO DE BENEFICIADO DE CAFÉ.

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

A comienzos del siglo XVIII surgieron las primeras noticias sobre café en Colombia, cuando los jesuitas introdujeron las primeras semillas del grano (Cárdenas, n.d.), desde ese entonces, dicho producto se ha convertido en un factor determinante para la economía de nuestro país, iniciando en los procesos de colonización hasta nuestra actualidad, el café ha llegado a ser catalogado como la columna vertebral del comercio exterior colombiano. A raíz de esto, en el año de 1927 se fundó la Federación Nacional de Cafeteros (FNC) (Cárdenas, n.d.) entidad encargada de organizar y representar a los productores del grano, promoviendo una caficultura eficiente y de calidad, con el fin de apoyar el mercado interno y externo del mismo, y también ser un gran influyente en las políticas que contemplan este producto.

El avance de la evolución tecnológica, en conjunto con los problemas ambientales que actualmente se presentan en el mundo, ha dado origen a que se tengan que implementar procesos tecnológicos que ayuden con la elaboración de diversos productos, entre ellos los provenientes de la agricultura. Uno de los objetivos de la implementación tecnológica en los procesos productivos agrícolas, es mejorar la eficiencia de los procesos y optimizar las etapas productivas, contribuyendo a disminuir la cantidad de recursos usados (Fermín Koop, 2013).

La agricultura moderna, ha centrado sus esfuerzos en medir y aumentar la productividad (en términos monetarios), sin valorar el coste energético y ambiental de estos sistemas y minimizando los aportes de los ecosistemas (Rótolo, G. C., & Francis, 2008). Sin duda, la gestión del consumo energético se ha convertido en una

herramienta importante para contribuir a la competitividad y sostenibilidad de diferentes sectores de la economía colombiana como: la industria, la agricultura, los hidrocarburos, el turismo, etc.

Actualmente, la agricultura ha permitido la inclusión de maquinaria que facilita sus procesos. Gracias a este apoyo tecnológico, el uso de diferentes equipos y maquinaria han optimizado procesos que anteriormente se realizaban de manera manual, sin embargo, el funcionamiento de estas máquinas depende de fuentes de energía, especialmente de energía eléctrica. Por lo anterior, la gestión de la energía eléctrica, es un factor de suma interés para garantizar la sostenibilidad de los procesos productivos agrícolas, y además ayudar con los problemas relacionados con el medio ambiente.

Para el caso de una cadena productiva agrícola tecnificada (para fines de este trabajo: café), el uso de maquinaria, equipos y motores, demandan gran cantidad de consumo eléctrico. No obstante, es posible encontrar diferentes fallas, entre ellas: A) estructurales: inadecuada implementación del sistema de cableado eléctrico, falta de clasificación de máquinas que consumen mayor energía y B) funcionales: falta de mantenimiento de los motores, control de su consumo energético.

El proceso de beneficio de café consiste en un conjunto de operaciones para transformar los frutos de café, en café pergamino de alta calidad física y en taza (Rótolo, G. C., & Francis, 2008). El proceso de beneficio de café lo realizan los caficultores, en su gran mayoría, en las instalaciones que tienen en sus fincas. A pesar de ello, hoy en día ya existen cadenas productivas de café tecnificadas, que usan herramientas tecnológicas en esta etapa de beneficio. Además, se identifica que la etapa de beneficio de café junto a la de trillado, son aquellas que más hacen uso de maquinaria y tecnología.

En el proceso de beneficiado de la cadena productiva de café (tecnificada) era necesario la medición de consumo de energía eléctrica, esto se hizo con el fin de

identificar inconvenientes estructurales y funcionales que generaban una mayor demanda en el consumo energético, dejando como resultados impactos negativos tanto económicos como ambientales.

A continuación, se presenta el objetivo de esta investigación:

Objetivo general: Diseñar una plataforma para medir el consumo de energía eléctrica en el proceso de beneficiado de café.

Objetivos Específicos:

- Caracterizar el proceso de beneficiado de café en relación al consumo de energía eléctrica (Caso de estudio: finca los Naranjos - Tecnicafé).
- Construir una aplicación IOT para registrar el consumo de energía eléctrica en el proceso de beneficiado de café
- Desarrollar una plataforma que indique el consumo de energía eléctrica en el proceso de beneficiado de café.

Este trabajo está organizado de la siguiente manera: en el capítulo II es presentado el estado del arte de la investigación y las brechas del conocimiento identificadas; el marco teórico es mostrado en el capítulo III; en el capítulo IV se lleva a cabo la caracterización del proceso de beneficio de café, caso de estudio finca Los Naranjos (Tecnicafé), Cajibío, Cauca, Colombia; posteriormente en el capítulo V se enseña el proceso de construcción de la solución IoT que cumple con los requerimientos planteados; el desarrollo de la plataforma Web para registrar y analizar los datos correspondientes el consumo energético de los equipos involucrados en el beneficiadero de café, se explica en el capítulo VI; Los resultados de la investigación son presentados en el capítulo VII; y finalmente se exponen las respectivas conclusiones y perspectivas.

CAPITULO II: ESTADO DEL ARTE

2.1. Estudios en E.E: Mapeo Sistemático.

Se usó la técnica de mapeo sistemático planteada en (Petersen, K., Feldt, R., Mujtaba, S., & Mattsson, 2008), que ayudó a profundizar en el tema de monitoreo de energía eléctrica en un sistema de producción agrícola de café, ordenar en categorías las investigaciones publicadas, y encontrar las brechas del conocimiento que no han sido abordadas hasta el momento. Para hacer el mapeo, se emplearon 3 fuentes de información científica: IEEE Xplore, Science Direct y Google Scholar, utilizando las siguientes cadenas de búsqueda: Plataforma/aplicación/software + consumo de energía, (Internet of Things) IOT + consumo de energía, Consumo de energía + agricultura/farming y Consumo de energía + café. Fueron considerados estudios desde el año 2007 en adelante. Fue realizado un análisis de 40 textos científicos, a los cuales se les aplicaron los siguientes criterios: i) inclusión: trabajos que aborden el tema de una plataforma del consumo de energía eléctrica. ii) Exclusión: textos que no estén publicados en revistas indexadas.

Finalmente se obtuvieron 40 documentos científicos: 12 de IEEE XPLORE (2 de plataforma + consumo de energía, 6 de IOT + consumo de energía, 4 consumo de energía + agricultura) 24 de GOOGLE SCHOLER (13 plataforma + consumo de energía, 6 IOT + consumo de energía, 4 consumo de energía + agricultura, 1 consumo de energía + café), 4 de SCIENCEDIRECT (1 plataforma + consumo de energía, 1 IOT + consumo de energía, 1 consumo de energía + agricultura, 1 consumo de energía + café), (ver Tabla 1), (Anexo A).

Seleccionados los trabajos relevantes, fueron definidas tres facetas de clasificación: i) Faceta temática: plataforma + consumo de energía, IoT + consumo de energía, consumo de energía + agricultura, consumo de energía + café. ii) Faceta de

investigación (clasificación brindada en (Wieringa, Maiden, Mead, & Rolland, 2006): Validación de la investigación; Evaluación de la investigación; Artículos de experiencia o reportes. Y iii) Faceta de Contribución: Solución tecnológica; Conceptual; Modelos, metodologías y marcos de referencia (ver Figura 1).

Tabla 1. Resultado de la búsqueda (documentos filtrados)

| Cadena de Búsqueda | Artículos por fuente de búsqueda | | | |
|----------------------------------|----------------------------------|----------------|---------------|-------|
| | IEEE XPLORE | Google Scholar | Sciencedirect | TOTAL |
| Plataforma + consumo de energía | 2 | 13 | 1 | 16 |
| IOT + consumo de energía | 6 | 6 | 1 | 13 |
| Consumo de energía + agricultura | 4 | 4 | 1 | 9 |
| Consumo de energía + café | 0 | 1 | 1 | 2 |
| Total | 12 | 24 | 4 | 40 |

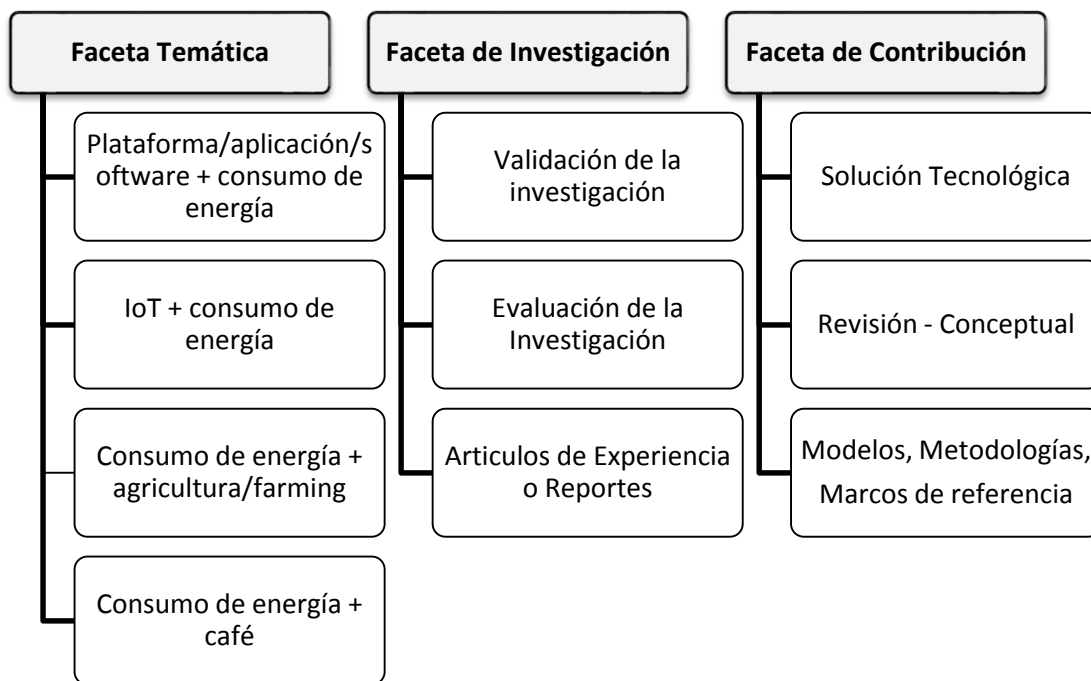


Figura 1. Esquema de clasificación textos científicos

Se manejó un diagrama de dispersión x-y en forma de burbujas para informar la frecuencia de las publicaciones en cada categoría, identificando los énfasis de

investigaciones anteriores, brechas y posibilidades para futuros estudios (ver Figura 2). El tamaño de una burbuja es proporcional al número de artículos que están en el par de categorías que correspondan a las coordenadas de la burbuja. El diagrama permite visualizar: *i*) en el cuadrante 1 la relación entre la faceta temática (eje y) y la faceta de contribución (eje x-); *ii*) en el cuadrante 2 la relación existente de la faceta temática (eje y) y la faceta de investigación (eje x+).

En el cuadrante 1, se observa que existe en primera instancia, una tendencia de textos científicos que abordan el tema de Consumo de energía y plataformas relacionados con la faceta de contribución, en donde la gran mayoría aportan una solución tecnológica, (16 documentos equivalentes al 40%); en segunda instancia, se encuentran textos científicos que utilizan la tecnología IoT + el consumo de energía en donde la gran mayoría son usados para soluciones tecnológicas (13 documentos equivalentes al 32.5%); en tercera instancia se puede observar que los documentos científicos relacionados con el consumo de energía + agricultura disminuyen a poco menos de la mitad en comparación con las dos instancias anteriores (9 documentos equivalentes al 22.5%); como última instancia tenemos que hay pocos documentos sobre el consumo de energía + el café (2 documentos equivalentes al 5%).

En el cuadrante 2, se observa se observa que existe en primera instancia, una tendencia de textos científicos que abordan el tema de consumo de energía + plataformas relacionados con la faceta de investigación; se encontraron (16 documentos equivalentes al 40%); en segunda instancia, se encuentran textos científicos que utilizan la tecnología IoT + el consumo de energía, en donde se encontró, (10 documentos equivalentes al 25%), en tercera instancia se puede observar documentos relacionados con el consumo de la energía más la agricultura (9 documentos equivalentes al 22.5%) y por última instancia tenemos consumo de energía más café (2 documentos equivalentes al 5%). Se pudo notar que sobre este cuadrante predominaron los aportes realizados a la evaluación de la investigación.

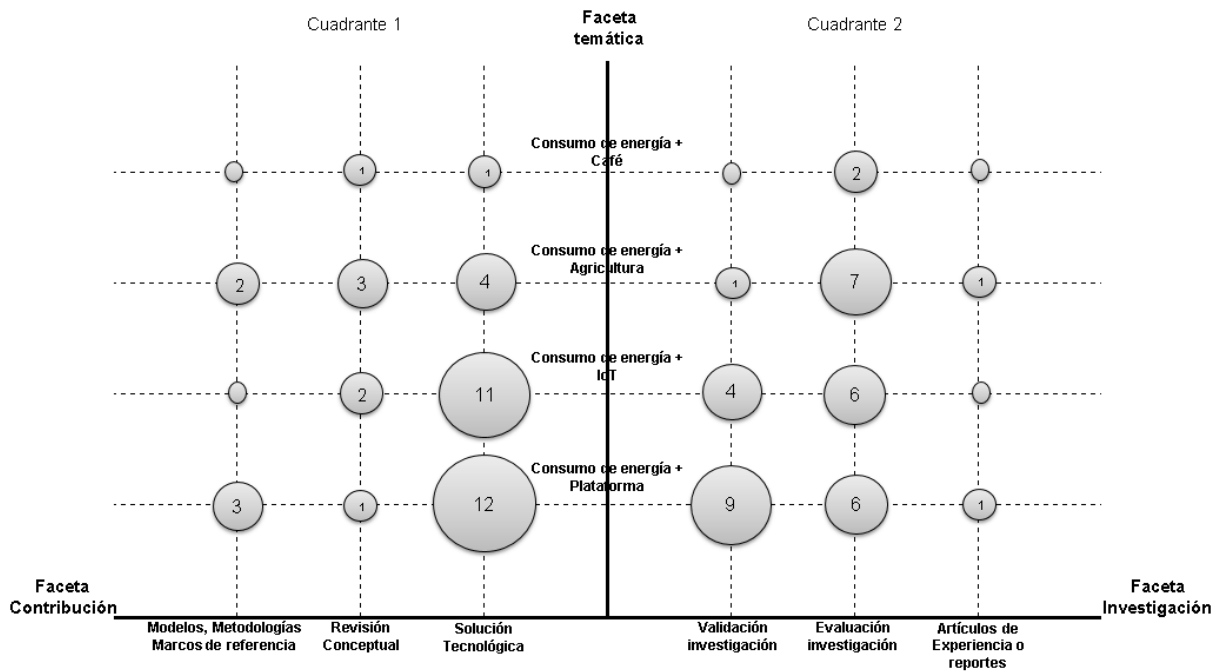


Figura 2. Diagrama visualización del mapeo sistemático.

2.2. Identificación de brechas de conocimiento

En la Figura 2 son expuestas las investigaciones más relevantes para el caso de estudio, estos trabajos están ordenados en relación a las categorías de la faceta temática, igualmente, es presentada una descripción de los contenidos comunes que hay en dichos estudios, y las brechas presentes en los mismos. La mayoría de soluciones que se ofrecen sobre diseño de una plataforma de medición del consumo de energía eléctrica en el proceso de beneficiado de café. Están ligadas a soluciones tecnológicas.

Son pocos los trabajos de investigación encontrados que aporten soluciones relacionadas con los inconvenientes que se pueden presentar entre el consumo de energía + café, por ello, la importancia de resaltar los retos que afronten y generen

soluciones que proporcionen un buen funcionamiento en cuanto al consumo de energía eléctrica generados por las maquinas industriales que se utilizan en el proceso de beneficiado del café, actualmente, el sector caficultor, está en busca de obtener el producto con mayor eficiencia optimizando los procesos de su transformación con el fin de obtener un mayor beneficio monetario, y por ende, seguir creciendo a nivel nacional e internacional, sin embargo, es de suma importancia aplicar medidas tecnológicas que aporten una mejor sostenibilidad de la energía eléctrica.

CAPITULO III: MARCO TEÓRICO

3.1. Proceso productivo agrícola de café

La calidad del café depende de todos los factores de producción, desde las condiciones ambientales (clima, suelo, árbol de café), hasta el manejo realizado por las personas encargadas de múltiples labores. En la Figura 3, se observa un gráfico con las principales etapas en el proceso de producción de café.

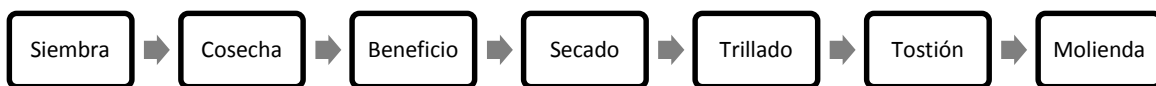


Figura 3. Etapas del Proceso Productivo del Café.

3.1.1. Siembra

Según la guía ambiental para el sector cafetero (“Guía ambiental para el sector cafetero | Federación Nacional de cafeteros,” 2017) en esta etapa es recomendable considerar las siguientes prácticas: construcción del germinador, construcción del almácigo, preparación del terreno, trazado ahoyado y siembra, fertilización, control de arvenses, control de plagas, manejo de enfermedades, conservación de suelos y aguas.

3.1.2. Cosecha

Esta etapa en Colombia, generalmente se realiza de manera manual, aquí se debe recoger, en su totalidad, sólo los frutos maduros, para garantizar más adelante la mayor productividad de café pergamino seco y reducir infestaciones de (“Guía ambiental para el sector cafetero | Federación Nacional de cafeteros,” 2017). Además, se sugiere: minimizar siempre el contacto de los frutos con el suelo; sólo recoger frutos sin daño; en el caso de recoger café inmaduro o con algún tipo de deterioro, beneficiar y procesar por separado; verificar que los utensilios de recolección y transporte de café, estén limpios y en buen estado (Cardenas Diaz Juan Pablo, 2014).

3.1.3. Beneficio

Es la etapa donde a través de una serie de sub-procesos se convierte el café cerezo obtenido en la cosecha, en café pergamino. Existen dos tipos de beneficio:

i. El *beneficio seco* (poco practicado en Colombia), que consiste en poner a sobremadurar la café cereza en la planta, y luego hacer una deshidratación del fruto (de 15 a 20 días) mediante exposición solar o de forma mecánica, con el objetivo de secar completamente la cereza, y poder realizar la remoción de la piel seca y el mucílago, obteniendo así el café pergamino.

ii. El *beneficio húmedo* (más usado en Colombia, en particular con tipos de café de procedencia arábica), consiste en la eliminación mecánica del exocarpio mediante uso de agua y del mesocarpio por fermentación, seguido del lavado para producir café pergamino (según la Norma Técnica Colombiana 3314).

3.1.4. Secado

Es la etapa del beneficio del café, donde el café pergamino se deja secar para reducir su contenido de humedad. El secado puede hacerse de manera natural empleando la energía solar: en patios, en infraestructuras simples como paseras, camas africanas, marquesinas, carros o silos, etc. O se puede usar un secado mecánico con ayuda de secadoras estáticas (silos), rotativas (guardiolas), o verticales (Torres, 2009).

3.1.5. Trillado

Es una de las etapas finales del proceso de beneficio, donde a partir del café pergamino se obtiene el café almendra o verde listo para su venta o tostión según sea el caso. El trillado consiste en separar del grano el pergamino o “cascarilla”,

generalmente se lleva a cabo en una máquina de trilla (Cardenas Diaz Juan Pablo, 2014).

3.2. Internet de las cosas (IoT)

Es un término nuevo propuesto en una presentación por Kevin Ashton en el año de 1999 en Procter y Gamble (P&G). Este concepto ha ido aumentando y tomando fuerza de forma exponencial. El Internet de las Cosas (IoT) es muy amplio, pero puede ser definido en forma resumida como:

“paradigma tecnológico que define la dotación de conectividad a internet a cualquier objeto sobre el que se pueda medir parámetros físicos o actuar, así como las aplicaciones y tratamiento de datos inteligentes relativos a los mismos” (Vega et al., 2015).

3.3. Consumo de energía Eléctrica

Para este trabajo, el concepto de consumo de energía eléctrica será entendido como: “es la cantidad de energía demandada por un determinado punto de suministro durante un plazo de tiempo denominado período de facturación. Este aspecto es facturado por las comercializadoras al aplicarse un precio del kWh que es el que determina la cantidad de dinero que tendrá que pagar el cliente” (Enriquez Harper, 1998).

3.4. Plataforma

Se refiere a los sistemas que actúan como base para hacer funcionar adecuadamente determinados módulos del hardware y el software de un equipo informático. Se trata de distintos tipos de arquitecturas de hardware que permiten utilizar determinados sistemas operativos y los programas que se quieren instalar en él. (Aubia Jordi, 2014).

Existen tres tipos de plataforma:

IBM-PC: hace referencia a la primera estructura de hardware del primer ordenador personal lanzado por IBM en 1981. La estructura de ese primer modelo estableció el primer estándar básico de hardware y software para todas las posteriores versiones del mismo, creando la denominada plataforma IBM-PC (Aubia Jordi, 2014).

Macintosh: Comercializada por el gigante informático Apple. En su origen la plataforma Mac se desarrolló en una arquitectura CISC basada en microprocesadores de la familia Motorola MC68000. A diferencia de la plataforma IBM-PC, la compañía Apple decidió crear ambas arquitecturas cerradas de manera que pudiesen controlar todo el software y los componentes de hardware que se fabricaban para sus equipos (Aubia Jordi, 2014).

Linux: Sistema operativo compatible UNIX, completamente libre y que viene acompañado de su código fuente. Su funcionamiento se basa en un kernel (Núcleo de sistema) que permite activar un gran número de programas/bibliotecas que hacen posible su utilización (Aubia Jordi, 2014).

CAPITULO IV: CARACTERIZACIÓN PROCESO DE BENEFICIO DEL CAFÉ

4.1. Etapas del beneficio del café

Las etapas de beneficio del café son explicadas a continuación, detallando los subprocesos (procedimiento de unidad), las operaciones, los flujos de subproductos, y los equipos involucrados.

4.1.1. Unidad de post-cosecha.

La etapa de beneficio de café inicia con la unidad de post-cosecha. En primer lugar, se deposita el café cerezo en la tolva de recibido (Figura 4 - a), paso a seguir comienza la operación de transporte 1, mediante el elevador de cangilones (figura 4 - b), el cual desplaza los frutos de café cereza y los deposita en el tanque sifón (figura 4 - c). Este tanque, tiene una capacidad de procesamiento de 3500 kg de café por hora, y en este equipo es realizada la operación de Limpieza 1, que consiste en clasificar por densidad el café cereza en 4 niveles: las impurezas (sólidos densos como piedras, e impurezas menos densas como ramas y hojas) son filtradas en los niveles inferior y superior, y en los dos niveles intermedios continua el flujo de café cereza óptimo.

En segunda instancia, el café cereza óptimo ingresa al separador de granos (figura 4 - d), el cual tiene una capacidad de procesamiento de 4000 kg de café por hora, sin embargo, por el flujo de proceso establecido previamente (capacidad del tanque sifón), se sigue operando con 3500 kg/h. El separador de granos, realiza un tamizaje (separación de distintas granulometrías de café cereza), esta operación es denominada selección, donde los granos son clasificados en los siguientes 4 rangos según su tamaño: i) inferiores a 10mm, ii) de 10mm a 11mm, iii) de 11mm a 12mm y iv) superiores a 12mm.

A continuación, el café seleccionado para continuar en el proceso es dirigido a la operación Separado, ejecutada en el módulo MultiScan (figura 4 - e). Este equipo

separa los granos de café cereza óptima por su grado de maduración, gracias a un análisis óptico que permite contrastar los colores del grano, retirando el café inmaduro y otros materiales como hojas, piedras y palos; limpiando así el café que será despulpado.

Los granos de café cereza idóneos seleccionados en el módulo MultiScan son dirigidos a la siguiente unidad del proceso mediante el elevador de cangilones de café cereza idóneo (figura 4 - f), esta operación es llamada Transporte 2.

4.1.2. Unidad de despulpado de café cereza.

Los granos de café cereza provenientes de la operación de Transporte 2, son dispuestos en la maquina despulpadora (figura 4-g), para llevar a cabo la operación despulpado. En este esquiopo los granos de café cereza son sometidos a la presión de pistones, obteniendo dos subproductos: i) la pulpa, la cual es desplazada mediante la operación Transporte 3 hacia un depósito, gracias a un tornillo sin fin de pulpa (figura 4 - h), donde posteriormente es usada para la producción de subproductos, y ii) el café baba, que continua el proceso hacia la unidad de fermentado.

4.1.3. Unidad de fermentado de café en baba

El café en baba es colocado en los tanques fermentadores, los cuales tienen una capacidad de 700 kg cada uno (figura 4 - i). Los granos reposan por un periodo de tiempo (entre 18 y 24 horas), asegurando el proceso de fermentación natural de los granos (gracias a los azucares propios del café), esta operación es denominada Fermentado. Esta operación no posee tiempos específicos de duración, debido a que depende de factores atmosféricos. En la finca los Naranjos esta operación en ocasiones se prolonga hasta un máximo de 24 horas, con el objetivo de lograr valores óptimos que garanticen la calidad del producto final. Además, hasta la fecha, en la finca hacen uso del conocimiento empírico de sus trabajadores para determinar el momento cuando el café ha cumplido con el proceso de fermentación.

4.1.4. Unidad de lavado de café en baba

Esta unidad inicia con el modulo lavador de café fermentado (figura 4 - j), donde es depositado el café fermentado para ser sometido a un lavado, llevando a cabo la operación de Limpieza 2. Esta operación consiste en retirar el mucilago que recubre la semilla de café. El café lavado es conducido al módulo centrifugadora (figura 4 - k), donde es sometido a la operación Secado 1. Dicha operación permite retirar el exceso de humedad de las semillas de café, logrando obtener un “café seco” que conserva una humedad aproximada del 60% (este es el valor óptimo de humedad para continuar el proceso).

4.1.5. Unidad de secado de café

En esta unidad es realizada la operación de Secado 2, la cual es ejecutada con el método de secado idóneo según la variedad de café y la disponibilidad de espacio en los patios de secado. Los módulos que intervienen en esta operación pueden ser tres: secado al sol bajo toldas plásticas (figura 4 - l), silos para acelerar el secado (figura 4 - m), guardiola de flujo de temperatura continúa (Figura 4 - n). En ocasiones, son combinados los módulos anteriores. El objetivo final, es obtener un flujo de café pergamino con una humedad relativa entre el 10 y 12%.

Figura 4. Equipos usados en la etapa de beneficio de café. Finca los naranjos, Cajibío, Supracafe.



Café cerezo



(a) Tolva de recibido



(b) Elevador de cangilones



(c) Tanque sifón



(d) Zaranda separadora de grano



(e) MultiScam



(f) Elevador de cangilones





(g) Despulpadora



(h) Tornillo sin fin



(i) Tanque fermentador



(j) Lavador de café



Café pergamino. Humedad de la semilla del 10 -12 %



(l) Secado de café al sol



(n) Guardiola 17



(m) silo



(k) Centrifugadora



4.2. Descripción de los flujos en las etapas de beneficio de café

Dentro de las etapas de beneficio son realizadas diversas operaciones, ocasionando cambios en los flujos de materia prima y la obtención de subproductos, tales como: pulpa, mucilago, agua, entre otros (Figura 5). Estos flujos poseen características relevantes a lo largo del proceso, por esta razón es necesario identificarlos (Tabla 1).

Tabla 1. Descripción de los flujos en las etapas de beneficio de café - Finca los Naranjos, Cajibío, Supracafé.

| ID | Flujos | Descripción - Referencia |
|----|-----------------------|---|
| 1 | Café cereza | Café recolectado directamente de la planta, para iniciar la etapa de beneficio |
| 2 | Café cereza limpio | Café cereza sin agentes externos al fruto o condiciones que afecten la integridad del mismo, como por ejemplo: sólidos densos (piedras), e impurezas menos densas (ramas y hojas) |
| 3 | Café cereza óptimo | Café cereza clasificado por tamaño en cuatro tipos: inferiores a 10mm, de 10mm a 11mm, de 11mm a 12mm, y superiores a 12mm |
| 4 | Café cereza idóneo | Café cereza separado por el grado de maduración (presenciado en su color en escalas desde amarillo hasta rojo) |
| 5 | Café en baba | Café cereza idóneo previamente despulpado |
| 6 | Café fermentado | Café en baba afectado por el proceso natural de fermentación mediante su almacenamiento |
| 7 | Café lavado | Café fermentado que no tiene presencia de mucilago y está listo para la etapa de secado |
| 8 | Café seco | Café afectado por el proceso de centrifugado, el cual retira el exceso de humedad a la semilla, logrando un valor de aproximadamente 60% de humedad |
| 9 | Café pergamino | Café seco, con una humedad de la semilla entre 10-12%. |
| 10 | Impurezas | Agentes ajenos al café cereza recolectado en el periodo de cosecha (piedras, hojas, ramas) |
| 11 | Café cereza desechado | Granos de café cereza afectados en su integridad por insectos, golpes y/o plagas |
| 12 | Pulpa | Subproducto obtenido en el despulpado del recubrimiento de café cereza |
| 13 | Mucilago | Subproducto obtenido del lavado del café, producido en el lavado de las semillas |
| 14 | Agua | Flujo de agua dentro de cada operación |
| 15 | Cisco | Flujo de pergamino y episperma, obtenido del trillado de café, para disposición final como elemento de combustión |

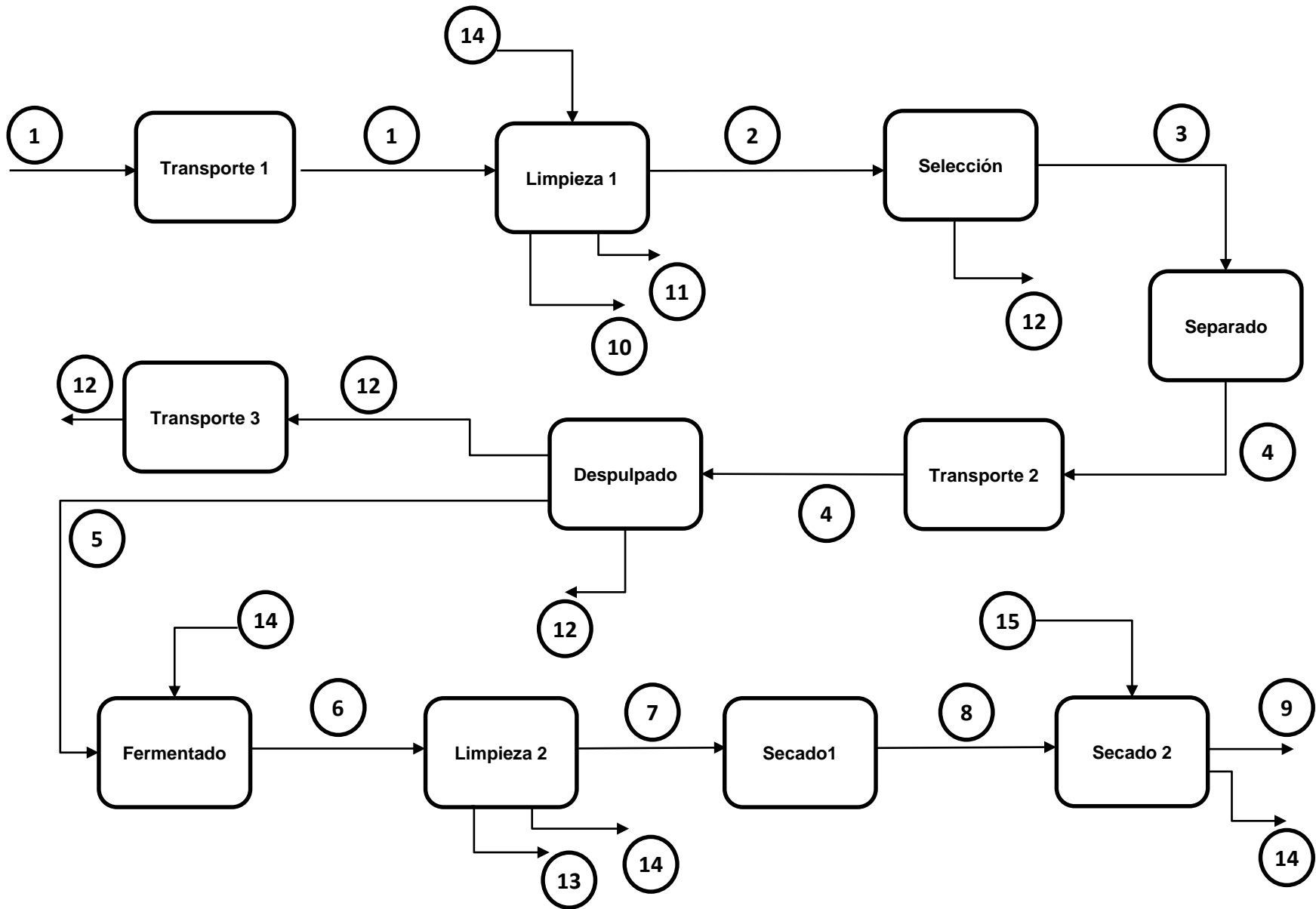


Figura 5. Operaciones y flujos de subproductos en las etapas de beneficio y secado de café. Finca los Naranjos, Cajibío, Supracafe.


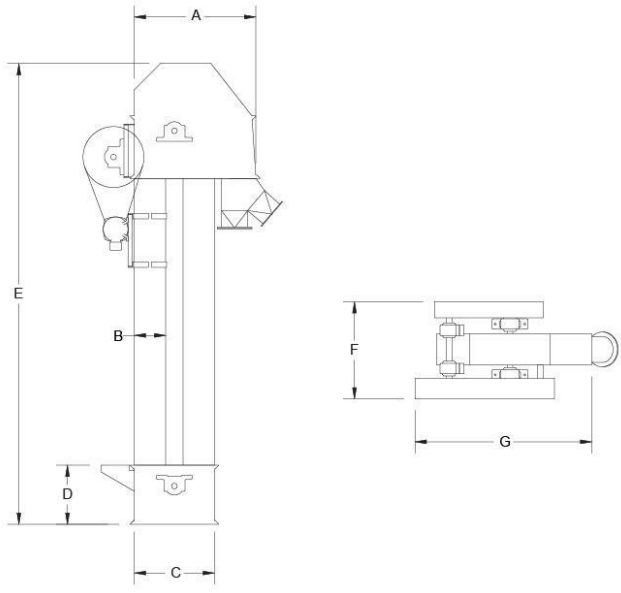
4.3. Tablas y datos técnicos de equipos empleados en el beneficio de café

En las etapas de beneficio de café se utilizan determinados equipos para hacer más eficiente el proceso y mejorar la calidad del café; por ende a continuación se da a conocer una descripción y datos técnicos sobre cada equipo involucrado en el proceso.

4.3.1. Elevador de cangilones tolva

El elevador de cangilones es un mecanismo que se utiliza para trasladar el café cerezo de forma vertical. (Tabla 2)


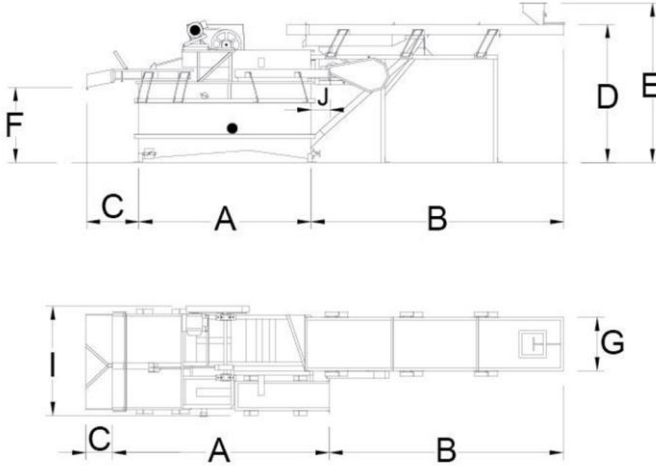
Tabla 2. Información técnica elevador de cangilones

| ELEVADOR DE CANGILONES TOLVA | | | | | | |
|--|------|------|---|--------------|-------------|---------------|
|  | | |  | | | |
| | | | MARCA | | | MODELO |
| Pinhalense | | | ELS-05 | | | |
| DIMENSIONES (m) | | | | | | |
| A | B | C | D | E | F | G |
| 0,80 | 0,25 | 0,60 | 0,60 | 3,40 | 0,60 | 1,25 |
| MOTOR ELECTRICO | | | | | | |
| Cantidad | HP | Kw | Voltaje(V) | Corriente(A) | Factor Pot. | Factor Efi. |
| 1 | 1/2 | 0.37 | 220 | 1.92 | 0.71 | 0.7 |

4.3.2. Tanque sifón

Lavadora separadora de cerezos inmaduros, así como retira las hojas/ramas y demás objetos que vienen con el cerezo del campo. (Tabla 3).

Tabla 3. Tanque sifón

| TANQUE SIFON | | | | | | | | | |
|---|----|------|------------|--------------|---|-------------|---|------|---|
|  | | | | |  | | | | |
| MARCA | | | | | MODELO | | | | |
| Pinhalense | | | | | LSC-05 | | | | |
| DIMENSIONES | | | | | | | | | |
| A | B | C | D | E | F | G | H | I | J |
| 1,80 | - | 0,30 | 1,30 | - | 0,85 | - | - | 1,60 | - |
| MOTOR ELECTRICO | | | | | | | | | |
| Cantidad | HP | Kw | Voltaje(V) | Corriente(A) | Factor Pot. | Factor Efi. | | | |
| 1 | 2 | 1.5 | 220 | 5.9 | 0.8 | 0.81 | | | |

4.3.3. Zaranda separadora de grano

Se utiliza para separar los granos de café según su tamaño así mismo aparta los defectos de forma rápida y mejorar la calidad del producto. (Tabla 4)

Tabla 4. Zaranda separadora de grano

| ZARANDA SEPARADOR DE GRANO | | | | | | |
|--|----|------|------------|--------------|-------------|-------------|
|  | | | | | | |
| MARCA | | | | MODELO | | |
| - | | | | - | | |
| MOTOR ELECTRICO | | | | | | |
| Cantidad | HP | kW | Voltaje(V) | Corriente(A) | Factor Pot. | Factor Efi. |
| 1 | 2 | 1.5 | 220 | 3.3 | 0.75 | 0.7 |
| ELEVADOR DE CANGILONES ZARANDA SEPARADOR DE GRANO | | | | | | |
| MARCA | | | | MODELO | | |
| Pinhalense | | | | ELS-05 | | |
| MOTOR ELECTRICO | | | | | | |
| Cantidad | HP | kW | Voltaje(V) | Corriente(A) | Factor Pot. | Factor Efi. |
| 1 | 1 | 0.75 | 220 | 3.5 | 0.72 | 0.78 |

4.3.4. Multiscam

Maquina seleccionadora de café cereza por color de cosecha mediante visión artificial. (Tabla 5).

Tabla 5. MultiScam

| MULTISCAM |
|--|
|  |

| MARCA | | | MODELO | | |
|------------------------|----|------------|--------------|-------------|-------------|
| Multiscan technologies | | | V20 | | |
| MOTOR ELECTRICO | | | | | |
| Cantidad | kW | Voltaje(V) | Corriente(A) | Factor Pot. | Factor Efi. |
| 1 | 3 | 220 | 1.7 | 0.7 | 0.8 |

4.3.5. Despulpadoras

Máquina que se utiliza para desprender y eliminar la cáscara y el mucílago de los granos de café. (Tabla 6)


Tabla 6. Despulpadoras

| DESPULPADORA 1 y 2 | | | | | | |
|--|----|------|------------|--------------|-------------|-------------|
|  | | | | | | |
| MARCA | | | MODELO | | | |
| Pinhalense | | | SIMPLES | | | |
| MOTOR ELECTRICO | | | | | | |
| Cantidad | HP | kW | Voltaje(V) | Corriente(A) | Factor Pot. | Factor Efi. |
| 2 | 2 | 1.5 | 220 | 6.08 | 0.79 | 0.82 |
| ELEVADOR DE CANGILONES DESPULPADORA 1 y 2 | | | | | | |
| MARCA | | | MODELO | | | |
| - | | | - | | | |
| MOTOR ELECTRICO | | | | | | |
| Cantidad | HP | kW | Voltaje(V) | Corriente(A) | Factor Pot. | Factor Efi. |
| 2 | 1 | 0.75 | 220 | 3.07 | 0.82 | 0.782 |
| RODILLO DESPULPADORA | | | | | | |
| MARCA | | | MODELO | | | |
| - | | | - | | | |
| MOTOR ELECTRICO | | | | | | |
| Cantidad | HP | kW | Voltaje(V) | Corriente(A) | Factor Pot. | Factor Efi. |
| 1 | 2 | 1.5 | 220 | 5.9 | 0.8 | 0.815 |

4.3.6. Tornillo sinfín de pulpa

Mecanismo utilizado para transportar los desechos de la pulpa de café hacia una zona de almacenamiento. (Tabla 7).

Tabla 7. Tornillo sinfín

| TORNILLO SIN FIN PULPA | | | | | | |
|---|-----|------|------------|--------------|-------------|-------------|
|  | | | | | | |
| MARCA | | | MODELO | | | |
| - | | | - | | | |
| MOTOR ELECTRICO | | | | | | |
| Cantidad | HP | kW | Voltaje(V) | Corriente(A) | Factor Pot. | Factor Efi. |
| 1 | 3.6 | 2.68 | 220 | 10.2 | 0.85 | 0.8 |

4.3.7. Lavadores de café

Máquina que se utiliza para limpiar los granos de café de todo tipo de impurezas después del despulpado. (Tabla 8).

Tabla 8. Lavadores de café


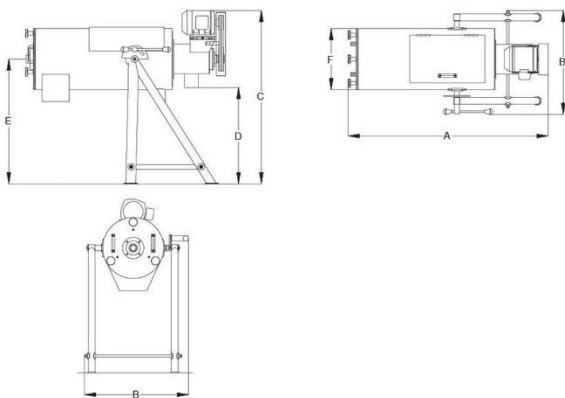
| LAVADOR DE CAFÉ 1 |
|-------------------|
| |

|  | | | | | | |
|---|-----|-------|------------|---------------|-------------|-------------|
| MARCA | | | | MODELO | | |
| - | | | | - | | |
| MOTOR ELECTRICO | | | | | | |
| Cantidad | HP | kW | Voltaje(V) | Corriente(A) | Factor Pot. | Factor Efi. |
| 1 | 5 | 3.7 | 220 | 14 | 0.81 | 0.85 |
| 1 | 1/2 | 0.37 | 220 | 1.92 | 0.71 | 0.63 |
| LAVADOR DE CAFÉ 2 | | | | | | |
|  | | | | | | |
| MARCA | | | | MODELO | | |
| ECOMILL | | | | - | | |
| MOTOR ELECTRICO | | | | | | |
| Cantidad | HP | kW | Voltaje(V) | Corriente(A) | Factor Pot. | Factor Efi. |
| 1 | 3 | 2.238 | 220 | 8.6 | 0.75 | 0.89 |
| 1 | 1/2 | 0.37 | 220 | 1.32 | 0.72 | 0.65 |

4.3.8. Desmucilagador

Máquina que se utiliza para remover el mucilago a través del lavado y limpieza del café removiéndolo en un 98%. (Tabla 9)

Tabla 9. Desmucilagador


| DESMUCILAGINADOR | | | | | | |
|---|------|-------|--|--------------|-------------|-------------|
|  | | |  | | | |
| MARCA | | | MODELO | | | |
| Pinhalense | | | SSP - 03 | | | |
| DIMENSIONES (m) | | | | | | |
| A | B | C | D | E | F | G |
| 1.50 | 0.75 | 1.30 | 0.70 | 0.90 | 0.45 | - |
| MOTOR ELECTRICO | | | | | | |
| Cantidad | HP | kW | Voltaje(V) | Corriente(A) | Factor Pot. | Factor Efi. |
| 1 | 3 | 2.238 | 220 | 8.6 | 0.75 | 0.89 |

4.3.9. Centrifuga

Equipo que retira por centrifugado el exceso de líquido de los granos de café que son procesados por vía húmeda, dejando los granos secos superficialmente y facilitando los procesos siguientes de secado del café. (Tabla 10)

Tabla 10. Centrifuga

| CENTRIFUGADOR DE CAFÉ | | | | | | |
|-----------------------|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | |

|  | | | | | | |
|---|----|-------|------------|---------------|-------------|-------------|
| MARCA | | | | MODELO | | |
| INGESEC | | | | CE 1000 | | |
| MOTOR ELECTRICO | | | | | | |
| Cantidad | HP | kW | Voltaje(V) | Corriente(A) | Factor Pot. | Factor Efi. |
| 1 | 3 | 2.238 | 220 | 8.6 | 0.75 | 0.89 |


4.3.10. Silo o secadora de café

Máquina que se usa para el secado de café el cual se introduce aire caliente a máximo 50°C, impulsado por un ventilador, el cual atraviesa el café. (Tabla 11)

Tabla 11. Silo o secadora de café 1

| SILO O SECADOR DE CAFÉ 1 | | | | | | |
|---|----|------|------------|---------------|-------------|-------------|
|  | | | | | | |
| MARCA | | | | MODELO | | |
| PINHALENSE | | | | - | | |
| MOTOR ELECTRICO | | | | | | |
| Cantidad | HP | kW | Voltaje(V) | Corriente(A) | Factor Pot. | Factor Efi. |
| 1 | 3 | 2.2 | 220 | 9.28 | 0.76 | 0.8 |
| ELEVADOR DE CANGILONES SILO 1 | | | | | | |
| MARCA | | | | MODELO | | |
| PINHALENSE | | | | ELSS - 5 | | |
| MOTOR ELECTRICO | | | | | | |
| Cantidad | HP | kW | Voltaje(V) | Corriente(A) | Factor Pot. | Factor Efi. |
| 1 | 1 | 0.75 | 220 | 3.50 | 0.72 | 0.78 |

Tabla 12. Silo o Secadora de café 2

| SILO O SECADOR DE CAFÉ 2 | | | | | | |
|---|----|------|------------|--------------|-------------|-------------|
|  | | | | | | |
| MARCA | | | | MODELO | | |
| GALLEGO | | | | - | | |
| MOTOR ELECTRICO | | | | | | |
| Cantidad | HP | kW | Voltaje(V) | Corriente(A) | Factor Pot. | Factor Efi. |
| 1 | 3 | 2.2 | 220 | 9.76 | 0.75 | - |
| 1 | 1½ | 1.11 | 220 | 10 | 0.755 | 0.74 |

4.3.11. Guardiola


Máquina que se utiliza para secar el café a una temperatura constante y homogénea (Tabla 13, 14).

Tabla 13. Guardiola 1

| GUARDIOLA 1 |
|--|
|  |

| MARCA | | | | MODELO | | |
|-------------------|----|------|------------|--------------|-------------|-------------|
| PINHALENSE | | | | VC-45 | | |
| MOTOR ELECTRICICO | | | | | | |
| Cantidad | HP | kW | Voltaje(V) | Corriente(A) | Factor Pot. | Factor Efi. |
| 2 | 3 | 2.2 | 220 | 8.3 | 0.84 | 0.85 |
| 1 | 1 | 0.75 | 220 | 3.1 | 0.8 | 0.80 |

Tabla 14. Guardiola 2

| GUARDIOLA 2 | | | | | | |
|---|----|------|------------|--------------|-------------|-------------|
|  | | | | | | |
| MARCA | | | | MODELO | | |
| - | | | | - | | |
| MOTOR ELECTRICICO | | | | | | |
| Cantidad | HP | kW | Voltaje(V) | Corriente(A) | Factor Pot. | Factor Efi. |
| 1 | 5 | 3.72 | 220 | 13.9 | 0.83 | 0.88 |
| 1 | 1¾ | 1.27 | 220 | 4.85 | 0.74 | 0.77 |
| 1 | 2 | 1.5 | 220 | 5.90 | 0.76 | 0.80 |
| 1 | ½ | 0.37 | 220 | 1.92 | 0.71 | 0.72 |
| ELEVADOR CANGILONES GUARDIOLA 1 Y 2 | | | | | | |
| MARCA | | | | MODELO | | |
| PINHALENSE | | | | EVU-05 | | |
| MOTOR ELECTRICICO | | | | | | |
| Cantidad | HP | kW | Voltaje(V) | Corriente(A) | Factor Pot. | Factor Efi. |
| 1 | 1 | 0.75 | 220 | 2.9 | 0.82 | 0.84 |

4.3.12. Quemadores de cisco

Máquinas que se utiliza para la quema de cisco y que sirve como combustible para el secado de café. (Tabla 15, 16, 17).

Tabla 15. Quemador de cisco 1


| Quemador de cisco 1 | | | | | | |
|---|-----|------|------------|--------------|-------------|-------------|
|  | | | | | | |
| MARCA | | | MODELO | | | |
| - | | | - | | | |
| MOTOR ELECTRICO | | | | | | |
| Cantidad | HP | kW | Voltaje(V) | Corriente(A) | Factor Pot. | Factor Efi. |
| 1 | 1/2 | 0.37 | 220 | 1.92 | 0.71 | - |

Tabla 16. Quemador de cisco 2

| Quemador de cisco | | | | | | |
|-------------------|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | |



| MARCA | | MODELO | | | | |
|-----------------|------|--------|------------|--------------|-------------|-------------|
| pinhalense | | | | | | |
| MOTOR ELECTRICO | | | | | | |
| Cantidad | HP | kW | Voltaje(V) | Corriente(A) | Factor Pot. | Factor Efi. |
| 1 | 1/2 | 0.37 | 220 | 1.92 | 0.71 | --- |
| 1 | 0.75 | 0.55 | 220 | 3.05 | 0.69 | --- |

Tabla 17. Quemador de cisco 3




| MARCA | | MODELO | | | | |
|-----------------|----|--------|------------|--------------|-------------|-------------|
| INGESEC | | | | | | |
| MOTOR ELECTRICO | | | | | | |
| Cantidad | HP | kW | Voltaje(V) | Corriente(A) | Factor Pot. | Factor Efi. |
| 1 | 3 | 2.238 | 220 | 8.5 | 0.75 | 8.8 |

4.3.13. Ventilador y turbo

Maquina creada para absorber el aire caliente e introducirlo al segundo y tercer piso aumentando así la velocidad de secado y dando continuidad al proceso de sacado. (Tabla 18).

Tabla 18. Ventilador y turbo

| VENTILADOR Y TURBO | | | | | | |
|--|-----|--------|------------|--------------|-------------|-------------|
|  | | | | | | |
| MARCA | | MODELO | | | | |
| GALLEGO | | | | | | |
| MOTOR ELECTRICO | | | | | | |
| Cantidad | HP | kW | Voltaje(V) | Corriente(A) | Factor Pot. | Factor Efi. |
| 1 | 7.5 | 10 | 220 | 26.18 | 0.84 | 0.89 |
| 1 | 1 | 0.7 | 220 | 2.8 | 0.78 | 0.85 |

4.4. Consumo eléctrico nominal línea de beneficiado

Para estimar el consumo eléctrico de la línea de beneficiado primero se asume que estará operando el día completo, esto debido a que la zona húmeda (comprendida desde la Tolva de recepción hasta los Tanques de fermentación) opera continuamente a un máximo de 12 horas en los jornales laborales cuando hay recepción de café cereza. Además el funcionamiento de la maquinaria de la línea de beneficiado de café se utiliza el sistema trifásico para alimentar cada uno de los motores; por tanto el consumo eléctrico mensual se calcula teniendo en cuenta este tipo de sistemas, donde se relaciona el voltaje de alimentación, Corriente, horas y días de compromiso medidos, al igual que las constantes raíz de 3 y el factor de potencia de cada uno de ellos, ver ecuación 1. La zona de secado tiene un periodo de funcionamiento de 20 horas, junto a 2 horas de cargue y 2 horas de descargue, por lo cual se constatan los valores necesarios para obtener el dato teórico de consumo eléctrico en el periodo mencionado (1 día = 24 horas) de cada uno de los motores existentes en el beneficiado en los tiempos y las condiciones mencionadas.

$$kW \text{ mensuales} = \frac{\sqrt{3} * V * I * \text{horas} * \text{días} * FP}{1000} \quad (\text{Ecuación 1}).$$

Tabla 19. Consumo energético línea de beneficiado de café. Empresa Supracafé

| Item | Maquina | Motor (HP) | Voltaje (V) | Corriente (A) | Horas | Días | Factor Potencia | Consumo diario (kWh) |
|------|---|------------|-------------|---------------|-------|------|-----------------|----------------------|
| 1 | ELEVADOR DE CANGILONES TOLVA | 1/2 | 220 | 1,92 | 12 | 1 | 0,71 | 6,233 |
| 2 | TANQUE SIFON | 2 | 220 | 5,9 | 12 | 1 | 0,8 | 21,583 |
| 3 | ZARANDA SEPARADOR DE GRANO | 2 | 220 | 3,3 | 12 | 1 | 0,75 | 11,317 |
| 4 | ELEVADOR DE CANGILONES ZARANDA SEPARADOR DE GRANO | 1 | 220 | 3,5 | 12 | 1 | 0,72 | 11,523 |
| 5 | MULTISCAM | 4 | 220 | 1,7 | 12 | 1 | 0,7 | 5,441 |
| 6 | DESPULPADORA 1 | 2 | 220 | 6,08 | 12 | 1 | 0,79 | 21,963 |
| 7 | DESPULPADORA 2 | 2 | 220 | 6,08 | 12 | 1 | 0,79 | 21,963 |
| 8 | ELEVADOR DE CANGILONES DESPULPADORA 1 | 1 | 220 | 3,07 | 12 | 1 | 0,82 | 11,511 |
| 9 | ELEVADOR DE CANGILONES DESPULPADORA 2 | 1 | 220 | 3,07 | 12 | 1 | 0,82 | 11,511 |
| 10 | RODILLO DESPULPADORA | 2 | 220 | 5,9 | 12 | 1 | 0,8 | 21,583 |
| 11 | TORNILLO SIN FIN PULPA | 3.6 | 220 | 10,2 | 12 | 1 | 0,85 | 39,645 |
| 12 | LAVADOR DE CAFÉ 1 | 5 | 220 | 14 | 12 | 1 | 0,81 | 51,853 |

| | | | | | | | | |
|----|----------------------------------|-------|-----|-------|----|---|-------|---------|
| 13 | LAVADOR DE CAFÉ 1 | 1/2 | 220 | 1,92 | 12 | 1 | 0,71 | 6,233 |
| 14 | LAVADOR DE CAFÉ 2 | 3 | 220 | 8,6 | 12 | 1 | 0,75 | 29,493 |
| 15 | LAVADOR DE CAFÉ 2 | 1/2 | 220 | 1,32 | 12 | 1 | 0,72 | 4,346 |
| 16 | DESMUCILAGINADOR | 3 | 220 | 8,6 | 12 | 1 | 0,75 | 29,493 |
| 17 | CENTRIFUGADOR DE CAFÉ | 3 | 220 | 8,6 | 12 | 1 | 0,75 | 29,493 |
| 18 | SILO O SECADOR DE CAFÉ 1 | 3 | 220 | 9,28 | 12 | 1 | 0,76 | 32,250 |
| 19 | ELEVADOR DE CANGILONES SILO 1 | 1 | 220 | 3,5 | 12 | 1 | 0,72 | 11,523 |
| 20 | SILO O SECADOR DE CAFÉ 2 3HP | 3 | 220 | 9,76 | 12 | 1 | 0,75 | 33,472 |
| 21 | SILO O SECADOR DE CAFÉ 2 1 1/2HP | 1 1/2 | 220 | 10 | 12 | 1 | 0,755 | 34,523 |
| 22 | GUARDIOLA 1 A | 3 | 220 | 8,3 | 12 | 1 | 0,84 | 31,880 |
| 23 | GUARDIOLA 1 B | 3 | 220 | 8,3 | 12 | 1 | 0,84 | 31,880 |
| 24 | GUARDIOLA 1 | 1 | 220 | 3,1 | 12 | 1 | 0,8 | 11,340 |
| 25 | GUARDIOLA 2 | 5 | 220 | 13,9 | 12 | 1 | 0,83 | 52,754 |
| 26 | GUARDIOLA 2 | 1 3/4 | 220 | 4,85 | 12 | 1 | 0,74 | 16,411 |
| 27 | GUARDIOLA 2 | 2 | 220 | 5,9 | 12 | 1 | 0,76 | 20,504 |
| 28 | GUARDIOLA 2 1/2HP | 1/2 | 220 | 1,92 | 12 | 1 | 0,71 | 6,233 |
| 29 | ELEVADOR CANGILONES GUARDIOLAS | 1 | 220 | 2,9 | 12 | 1 | 0,82 | 10,874 |
| 30 | QUEMADOR DE CISCO 1 | 1/2 | 220 | 1,92 | 12 | 1 | 0,71 | 6,233 |
| 31 | QUEMADOR DE CISCO 2 | 1/2 | 220 | 1,92 | 12 | 1 | 0,71 | 6,233 |
| 32 | QUEMADOR DE CISCO 2 | 0,75 | 220 | 3,05 | 12 | 1 | 0,69 | 9,623 |
| 33 | QUEMADOR DE CISCO 3 | 3 | 220 | 8,5 | 12 | 1 | 0,75 | 29,150 |
| 34 | VENTILADOR Y TURBO | 7,5 | 220 | 26,18 | 12 | 1 | 0,84 | 100,557 |
| 35 | VENTILADOR Y TURBO | 1 | 220 | 2,8 | 12 | 1 | 0,78 | 9,987 |

En la Tabla 19 se identificaron treinta y cinco (35) motores en la línea de beneficiado instalada en la empresa SUPRACAFE COLOMBIA S.A., donde en cada uno se ha identificado que opera a un voltaje de 220V AC, con una corriente determinada por el flujo de proceso, al igual que las horas de compromiso de cada motor listado; El factor de potencia mencionado se obtiene de la revisión de los valores de placa en cada motor listado. En la última columna se registra el consumo energético diario de cada motor en la línea de Beneficiado en el procesamiento diario de café cereza.

CAPITULO V: CONSTRUCCIÓN DE LA APLICACIÓN IOT

A continuación, se hace una descripción de las características y funcionamiento de los elementos utilizados en la aplicación IoT de medición de consumo de energía en el proceso de beneficio de café, de igual manera se muestra el orden y la forma en que cada dispositivo esta interconectado en el sistema.

El funcionamiento de la aplicación se basa en la comunicación RF (Radio Frecuencia) y se muestra en la figura 6. Este dispositivo mide y monitorea en tiempo real el consumo de energía eléctrica de cada máquina utilizado en el proceso de beneficio de café. Mediante un arduino se obtendrán los datos captados por el sensor de corriente SCT013000 y el sensor de voltaje ZMPT101B conectados al motor de la maquina a monitorear, estos datos serán enviados por vía inalámbrica mediante el transceptor NRF24L01+ configurado como transmisor, y serán recibidos por otro transceptor NRF24L01+ como receptor el cual está conectado a una Raspberry pi 3 que se usara como servidor web y guardara la información recibida. Esta contara además con una base de datos y una página web que permitirá ver los registros o la información sobre el consumo eléctrico en el proceso del beneficio del café.

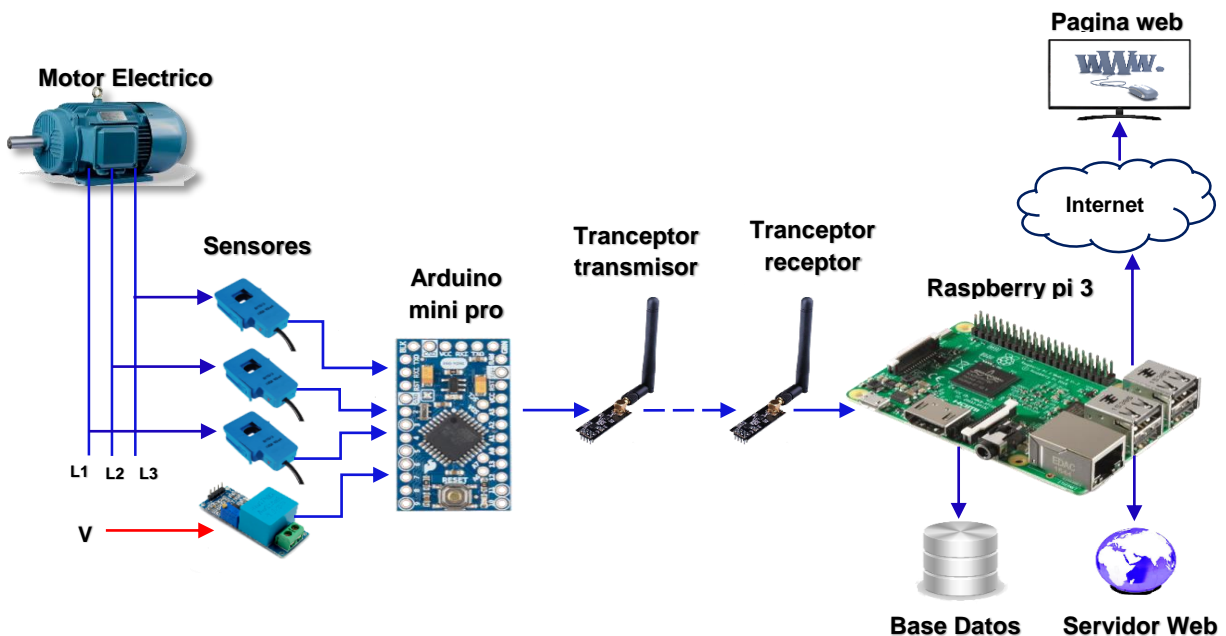


Figura 6. Conexión plataforma IoT con los elementos

5.1. Diseño de hardware

La plataforma de medición de consumo de energía eléctrica está conformada por un transmisor de datos que permitirá enviar la información pertinente al servidor IoT y posteriormente almacenarla en la base de datos. Este transmisor contiene los siguientes elementos electrónicos como sensor de corriente, sensor de voltaje, arduino mini pro, transceptores, y Raspberry pi 3.

5.1.1. Sensor de corriente

El sensor que se usó para medir la corriente fue el de referencia SCT-013-000 (Figura 7). Este tipo de sensor permite medir en un conductor la intensidad que pasa sobre él, sin tener que cortar o alterar el circuito. Su funcionamiento es similar al de una pinza amperimétrica que emplea un núcleo ferromagnético dividido y permite abrirlo para abrazar el conductor y por inducción electromagnética realizar la correspondiente medición.



Figura 7. Sensor de Corriente SCT-013-000

Características

- Corriente de entrada: 0 - 100A AC
- Voltaje de salida: 0 ~ 1V
- No linealidad: $\pm 1\%$
- Resistencia Grado: Grado B
- Temperatura de trabajo: $-25^{\circ}\text{C} \sim +70^{\circ}\text{C}$
- Rigidez dieléctrica (entre la cáscara y la salida): 1000 V AC / 1min 5 mA

- Longitud del cable: 1m
- Tamaño: 13mm x 13mm

5.1.2. Sensor de voltaje

Para medir el voltaje se empleó el sensor ZMPT101B (Figura 8). Este sensor permite reducir el voltaje de entrada AC a un voltaje más bajo, con el fin de que pueda ser leído por un Arduino. También consta de un transformador que permite un aislamiento galvánico proporcionando en su manejo mayor seguridad.

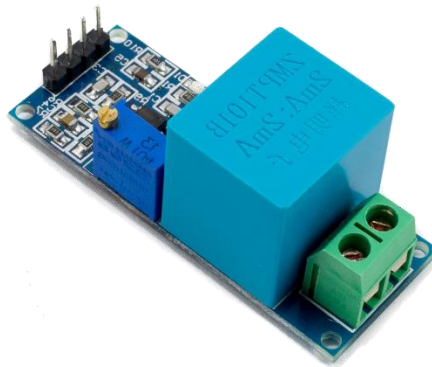


Figura 8. Sensor de Voltaje ZMPT101B

Características

- Voltaje de alimentación: 3.3V - 5VDC
- Voltaje alterno de entrada: 250VAC máx.
- Voltaje alterno de salida: Onda senoidal 5VAC máx.
- Señal de salida: analógica senoidal
- Dimensiones: 5 cm x 2 cm x 2.4 cm
- Propiedades del transformador:
- Corriente nominal de entrada y salida: 2mA
- Ratio entrada-salida 1000:1000
- Diferencia de fase: $<30^\circ$ (a 50ohm)
- Rango lineal: 0-3mA (a 50ohm)
- Linealidad: 1%
- Precisión: 0.2%
- Aislamiento eléctrico entrada: hasta 3000V

5.1.3. Arduino Pro Mini

El arduino pro mini se presenta en dos modelos, una que funciona con un voltaje de operación de 5v y frecuencia de reloj de 16MHz y otra que funciona a 3.3v con una frecuencia de reloj de 8MHz. Para trabajar en la construcción de la plataforma IoT se eligió la última en mención ya que los sensores tanto de corriente como de voltaje funcionan a 3.3v, además por su bajo consumo de energía. (Figura 9)

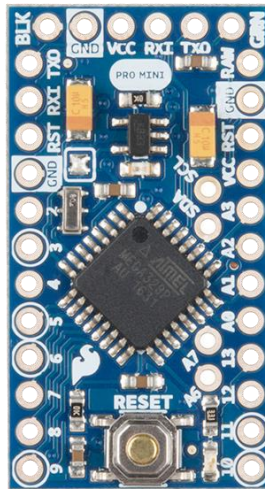


Figura 9. Arduino Pro Mini 3.3v/8MHz

Características

- Microcontrolador: ATmega328P
- Voltaje de Operación: 3.3V DC (VCC)
- Voltaje de alimentación: 3.3V - 9V DC (Pin RAW)
- Pines I/O Digitales: 14 (6 PWM)
- Pines Analógicos: 8
- Corriente DC por Pin I/O: 40 mA (máx.)
- Memoria FLASH: 32KB (2KB usados por el Bootloader)
- Memoria SRAM: 2KB
- Memoria EEPROM: 1KB
- Frecuencia de Reloj: 8 MHz

5.1.4. Transceptor

El transceptor que se utilizó es el de referencia NRF24L01+ (Figura 10). Este módulo permite la comunicación vía inalámbrica entre dos elementos, funciona en la banda de 2.4GHz por lo que su licencia es libre y su consumo de energía es ultra bajo; además de transmitir datos entre 700 metros a 1100 metros de distancia en línea de vista.



Figura 10. Transceptor NRF24L01+

Características

- Fuente de alimentación: 1.9 ~ 3.6V
- voltaje de funcionamiento del puerto IO: 0 ~ 3.3v
- Consumo Corriente: 115 mA
- Tasa de transmisión: +20 dBm
- Recepción de sensibilidad: $\leq -95\text{dBm}$ a 1Mbps
- El alcance de transmisión: 1000m en zona abierta
- Dimensiones: 16.5mmx45.5mm

5.1.5. Raspberry pi 3.

El Raspberry Pi 3 Modelo B+ es un ordenador de placa única (SBC) de bajo costo, desarrollada con el objetivo de estimular la enseñanza de informática/programación.

Posee la capacidad de funcionar como una computadora personal completa y usarla para navegar por internet, ver vídeos, redactar documentos, programar y jugar.

Además presenta la opción de trabajar de forma similar a un Arduino: permitiendo programar el uso de sus pines GPIO, que incluye también comunicación serial, SPI e I2C. Estas funciones hacen que pueda ser empleado en proyectos de electrónica y robótica interactuando con sensores y actuadores, especialmente útil en aplicaciones con procesamiento de imágenes/vídeo, cámaras y cálculos matemáticos complejos (figura 11).

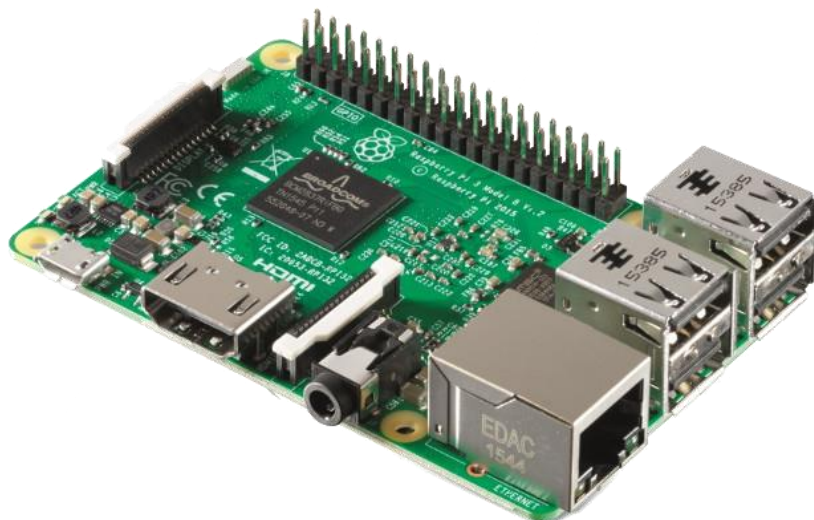


Figura 11. *Raspberry Pi 3 B+*

Características

- SoC: Broadcom BCM2837B0 (CPU, GPU, DSP y SDRAM)
- CPU: 1.4GHz Quad-core ARM Cortex-A53 (ARMv8 instruction set)
- Juego de instrucciones: RISC de 64 bits
- GPU Broadcom VideoCore IV @ 400MHz/300MHz
- Memoria RAM: 1GB LPDDR2 (compartidos con la GPU)
- Alimentación: 5V/2.5 A (3.5 W) via microUSB

Conexiones:

- 4 x USB 2.0 (pueden entregar hasta 1.2A)
- 1 x Salida audio mini jack 3.5 mm
- 1 x Salida vídeo/audio HDMI
- 1 x Micro USB (Alimentación)
- 1 x RJ45 10/100/1000 Ethernet (RJ-45) sobre USB 2.0 (max. 300Mbps)
- 40x pines macho GPIO (27 E/S, UART, I2C, SPI)

5.1.6. Placa base electrónica

Para conectar cada uno de los componentes electrónicos anteriormente mencionados se diseñó con la ayuda de los programas Eagle y Proteus una placa base que facilito la interconexión de cada uno de los elementos además de permitir el ensamble y desensamble de cada componente de manera rápida y fácil. En la figura 12 se puede apreciar el diseño de la placa base y sus componentes ensamblados realizado en Eagle, en la figura 13 se muestra de manera física y su circuito esquemático se encuentra en el anexo 1.

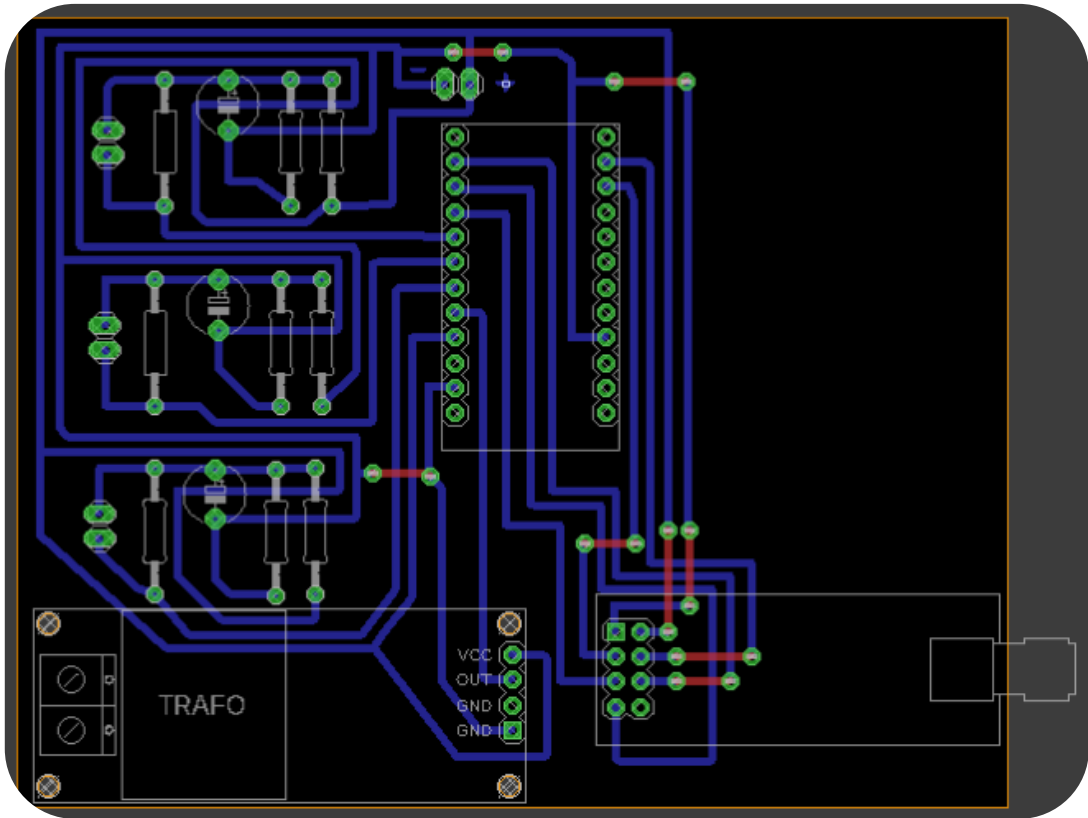


Figura 12. Placa base

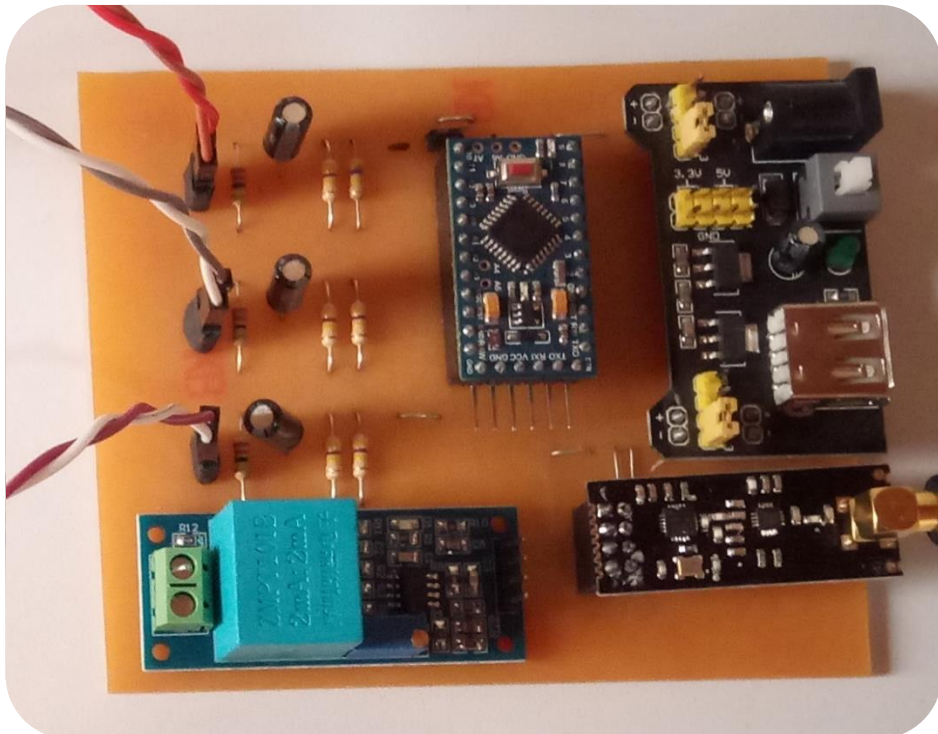


Figura 13. Placa base física

5.2. Diseño de software

En el desarrollo de software se utilizan diferentes lenguajes de programación que facilitan el manejo y el intercambio de datos entre los distintos dispositivos, que proporcionan su interconexión para su óptimo funcionamiento.

En la programación se define las acciones del sistema, se organiza y ejecuta las actividades, como también la administración de datos y la creación de interfaz interactiva para el usuario.

5.2.1. Programa de Arduino

En el entorno IDE de Arduino se configura los diferentes dispositivos que van a permitir la recepción de los datos y también se definen las acciones para el envío de los mismos al servidor.

En el inicio del código se importan las librerías pertinentes para el manejo de los sensores de corriente, voltaje y el transceptor para el envío de los datos; además se declaran algunas variables globales para el manejo de los datos las cuales se inicializan en el momento de encender el Arduino.

5.2.2. Base de datos

La base de datos nos garantiza que la información se almacene de forma segura y organizada, y a su vez poder ejercer un adecuado manejo de la misma. Para el almacenamiento de la información se utilizó el software MySQL por contener una versión gratuita y de tipo no comercial. A continuación se muestra el diagrama de flujo para llevar la información hacia la base de datos (Figura 14).

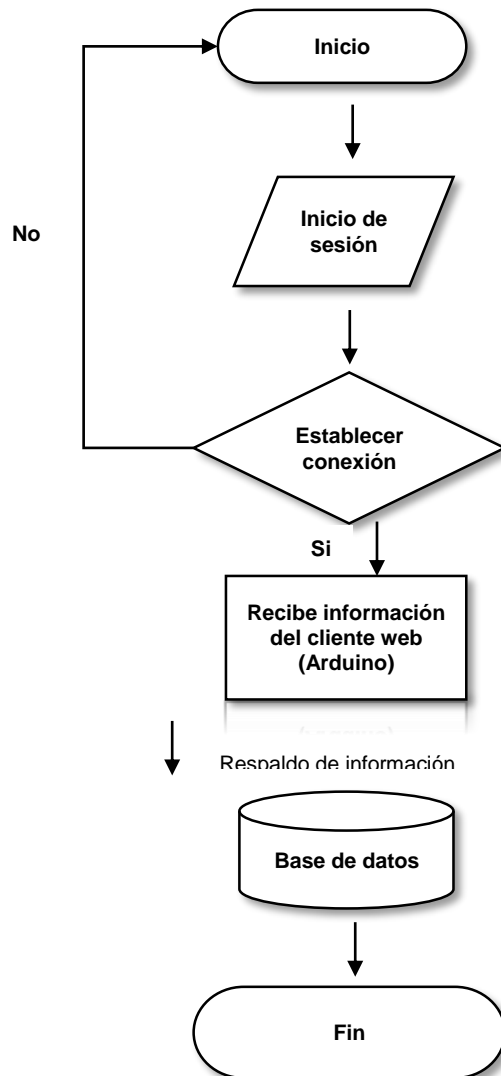


Figura 14. Diagrama de flujo para la conexión y envío de datos

La estructura de la base de datos (figura 15) se fundamenta en cuatro tablas:

- **Tabla usuario**, se almacenan los datos del usuario de la plataforma, id usuario, cedula, nombre, apellido, alias, clave, tipo y correo.
- **Tabla máquina**, se almacena la información más relevante de cada uno de las maquinas involucradas en el proceso del beneficio. Para cada máquina se tendrá en cuenta, el nombre de la máquina, cantidad de motores, marca y modelo.

-**tabla motor**, contiene la información referente a los datos nominales con los que viene cada motor, estos campos son: referencia del motor, corriente nominal, voltaje nominal, potencia nominal, caballos de fuerza, y factor de potencia.

- **Tabla de registros**, en ella se almacena los datos obtenidos por los sensores de corriente y voltaje, dichos datos son: registrador, fecha, corriente1, corriente2, corriente3, voltaje, potencia, horas de funcionamiento y consumo de energía.

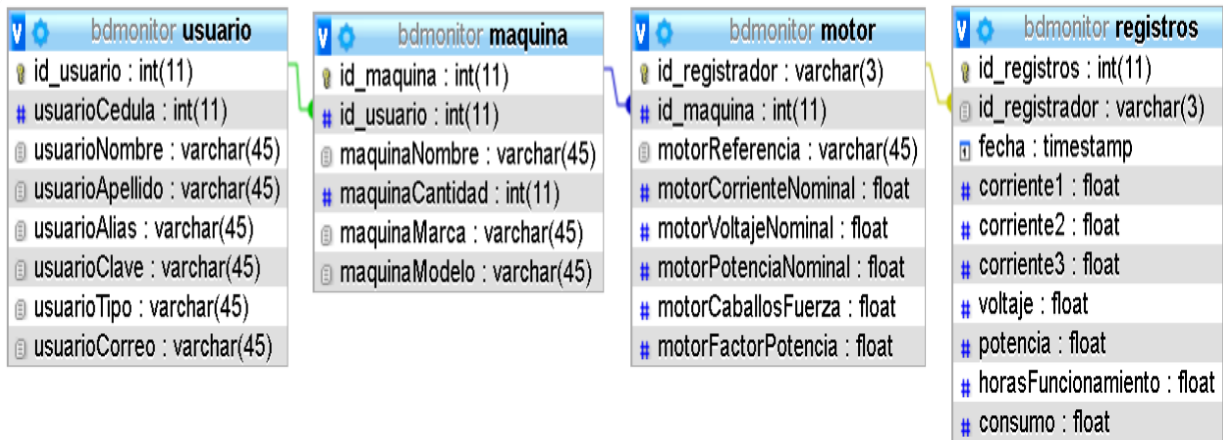


Figura 15. Diagrama base de datos

CAPITULO VI: DESARROLLO DE LA PLATAFORMA WEB IOT.

La plataforma web se desarrolló siguiendo un modelo vista-controlador (MVC) creado en HTML, CSS, y PHP con los frameworks Bootstrap, Los datos se obtienen mediante métodos POST a servicios web en PHP.

Para ello fue necesario crear tres carpetas que componen el MVC, adicionalmente se agregó una carpeta vistas para alojar los recursos suministrados por Bootstrap, asimismo fue necesario crear una carpeta núcleo donde quedarán los archivos para la conexión a la Base de datos y configuración general para el servidor web.

6.1. Inicio web de la plataforma

En el inicio de la plataforma se mostrara en pantalla una página web con una ventana de inicio de sesión (Figura 16), en donde se necesitara de un usuario y una contraseña que previamente se habrán creado en la base de datos para permitir el ingreso a la misma.



Figura 16. Inicio web plataforma.

6.2. Menú principal de la plataforma

Una vez se ha iniciado el acceso a la plataforma, se puede visualizar un menú lateral (Figura 17), en color gris oscuro conformado por las opciones de inicio, control en la que se desplegara a su vez las opciones de registro de usuarios, máquinas y motores para almacenarlos en la base de datos, y finalmente estará la opción reportes de consumo energía.



Figura 17. Menú de opciones

6.3. Opción control

En la opción control del menú al desplegarlo mostrara tres opciones que permitirán el registro de cada uno de los datos de usuarios, máquinas y motores existentes en el proceso de beneficiado de café (Figura 18). Una vez registrados los datos, se podrán

ver en una lista que para acceder a ella estará la opción lista de usuarios, maquinas o motores según la opción que se halla elegido en la opción menú control (Figura 19).



Figura 18. Opciones control



Figura 19. Lista

6.4. Opción reportes consumo de energía

En la opción reportes consumo de energía de la plataforma web se presentan dos alternativas para calcular el consumo de energía de una máquina (Figura 20). En la primera se calcula con los datos nominales del motor. Para llevar a cabo este cálculo se escoge la maquina a la que se le quiere saber el consumo de energía (Figura 21); una vez hecho lo anterior automáticamente en el cuadro de texto Motor aparecen los motores relacionados con la máquina (Figura 22); después de seleccionar el motor en los demás cuadros de texto aparecen los datos nominales como corriente, voltaje y potencia para finalmente en el cuadro de texto #horas se selecciona la cantidad de horas de funcionamiento del motor para que muestre el consumo de energía ya sea en días, semanas o meses (Figura 23). Para agregar una maquina más al cálculo de consumo de energía simplemente se pulsa en el botón agregar maquina he inmediatamente después saldrá una fila más con las opciones anteriormente mencionadas. (Figura 24).

En la segunda opción tiene el mismo principio de la primera con la diferencia que el consumo de energía se calcula con los datos arrojados por el dispositivo de transmisión IoT.

Consumo de energia nominal de una maquina kWh

| Maquina | Motor | Corriente | Voltaje | Potencia | #horas | Dia | Sem | Mes | |
|---------------------------------|-----------------------|-----------|---------|----------|--------|-----|-----|-----|---|
| Seleccione una maquina ▼ | Seleccione un motor ▼ | 0 | 0 | 0 | - ▼ | 0 | 0 | 0 | ✕ |
| Total consumo | | | | | | 0 | 0 | 0 | |
| Agregar Maquina | | | | | | | | | |

Consumo de energia Real de una maquina kWh

| Maquina | Motor | Fecha | Corriente | Voltaje | Potencia | #horas | Dia | Sem | Mes | |
|---------------------------------|-----------------------|--------------------|-----------|---------|----------|--------|-----|-----|-----|---|
| Seleccione una maquina ▼ | Seleccione un motor ▼ | Seleccione fecha ▼ | | | | | 0 | 0 | 0 | ✕ |
| Total consumo | | | | | | | 0 | 0 | 0 | |
| Agregar Maquina | | | | | | | | | | |

Figura 20. Opciones consumo de energía

Consumo de energía nominal de una maquina kWh

| Maquina | Motor | Corriente | Voltaje | Potencia | #horas | Dia | Sem | Mes | |
|---|--|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| <input type="text" value="Seleccione una maquina"/> <ul style="list-style-type: none"> Seleccione una maquina Guardiola Silo Elevador Cangilones <input type="button" value="Agregar Maquina"/> | <input type="text" value="Seleccione un motor"/> | <input type="text" value="0"/> | <input type="text" value="0"/> | <input type="text" value="0"/> | <input type="text" value="-"/> | <input type="text" value="0"/> | <input type="text" value="0"/> | <input type="text" value="0"/> | <input type="button" value="✕"/> |
| | | | | | | <input type="text" value="0"/> | <input type="text" value="0"/> | <input type="text" value="0"/> | |

Figura 21. Selección maquina

Consumo de energía nominal de una maquina kWh

| Maquina | Motor | Corriente | Voltaje | Potencia | #horas | Dia | Sem | Mes | |
|--|---|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| <input type="text" value="Guardiola"/> | <input type="text" value="Seleccione un motor"/> <ul style="list-style-type: none"> Seleccione un motor MG1 MG2 MG3 | <input type="text" value="0"/> | <input type="text" value="0"/> | <input type="text" value="0"/> | <input type="text" value="-"/> | <input type="text" value="0"/> | <input type="text" value="0"/> | <input type="text" value="0"/> | <input type="button" value="✕"/> |
| Total consumo | | | | | | <input type="text" value="0"/> | <input type="text" value="0"/> | <input type="text" value="0"/> | |

Figura 22. Selección motor

Consumo de energía nominal de una maquina kWh

| Maquina | Motor | Corriente | Voltaje | Potencia | #horas | Dia | Sem | Mes | |
|--|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| <input type="text" value="Guardiola"/> | <input type="text" value="MG1"/> | <input type="text" value="5.9"/> | <input type="text" value="220"/> | <input type="text" value="1.5"/> | <input type="text" value="1"/> | <input type="text" value="1.71"/> | <input type="text" value="11.96"/> | <input type="text" value="51.26"/> | <input type="button" value="✕"/> |
| Total consumo | | | | | | <input type="text" value="1.71"/> | <input type="text" value="11.96"/> | <input type="text" value="51.26"/> | |

Figura 23. Consumo de energía

Consumo de energia nominal de una maquina kWh

| Maquina | Motor | Corriente | Voltaje | Potencia | #horas | Dia | Sem | Mes | |
|----------------------|-------|-----------|---------|----------|--------|------|-------|--------|---|
| Guardiola | MG1 | 5.9 | 220 | 1.5 | 1 | 1.71 | 11.96 | 51.26 | ✕ |
| Silo | MS1 | 9.76 | 220 | 2.2 | 1 | 2.79 | 19.53 | 83.68 | ✕ |
| Elevador Cangilones | MEC1 | 1.92 | 220 | 0.37 | 1 | 0.52 | 3.64 | 15.58 | ✕ |
| Total consumo | | | | | | 5.02 | 35.13 | 150.52 | |

Figura 24. Agregar maquinas

CAPITULO VII: RESULTADOS

Con el desarrollo de la plataforma de medición de consumo de energía eléctrica, se procedió con la instalación de los dispositivos y ejecución sobre las maquinas situadas en el proceso de beneficiado de café, donde se efectuaron pruebas de funcionamiento tanto del dispositivo de transmision y comunicación con el servidor para el almacenamiento de los datos, esto se realizó con el fin de calibrar los sensores para garantizar un correcto funcionamiento del sistema de monitoreo de energia.

7.1. Dispositivo final IoT de transmision

Con la elaboración de la placa base en tarjeta de circuito impreso y adecuacion de una caja para alojar cada uno de los componentes se procedio a ensamblar cada elemento electronico para que su uso fuera mas como de manejar en el momento de adquirir los datos por medio de los sensores. El dispositivo de transmisión IoT final se muestra en la figura 25 y 26.

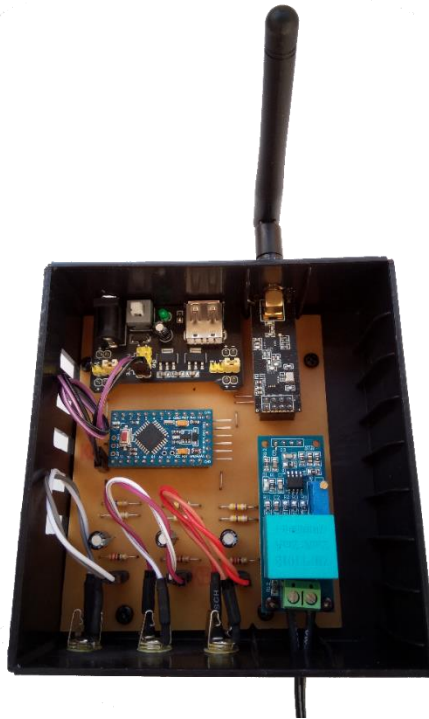


Figura 25. Dispositivo de transmisión IoT interior



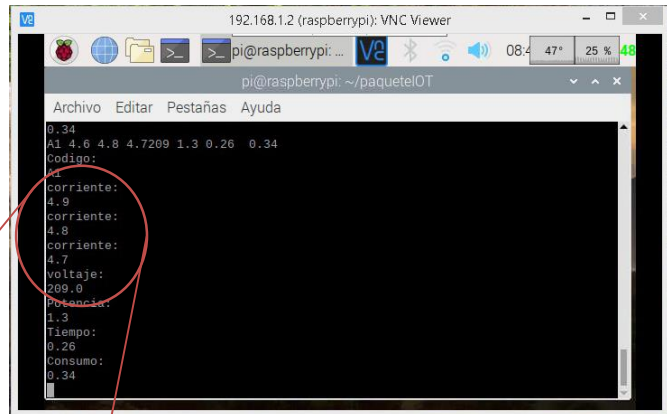
Figura 26. Dispositivo de transmisión IoT final

7.2. Funcionamiento del dispositivo IoT final

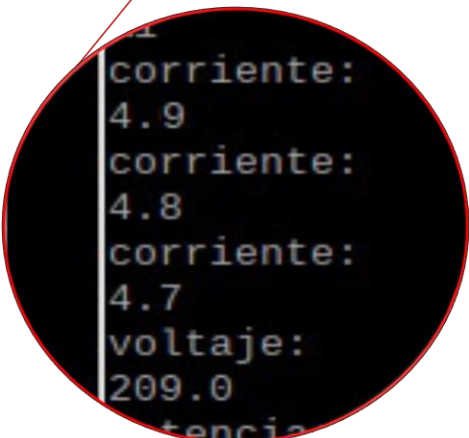
Para evaluar el dispositivo final de medición de consumo de energía, se llevó a cabo una comparación de datos entre una herramienta de medición estándar como el multímetro y el dispositivo de transmisión IoT. Se tomaron distintas mediciones tanto de corriente como de voltaje y se compararon. En base a ello, se pudo establecer una aproximación de valores entre ambas partes, garantizando así una validez acertada del dispositivo IoT en los datos de medida. (Figura 27).



Dispositivo transmisor IoT



Servidor IoT



Datos de corriente y voltaje obtenidos con el dispositivo de transmisión IoT



Corriente medida con amperímetro



Voltaje medido con voltímetro

Figura 27. Relación de datos entre herramientas estándar de medición eléctrica y el dispositivo IoT

7.3. Pruebas de transmisión y recepción del dispositivo IoT

Las pruebas en general del dispositivo IoT de transmisión arrojaron buenos resultados consiguiendo la transmisión de datos entre el dispositivo y el servidor IoT de forma continua e ininterrumpida. El medio de comunicación utilizado fue la radiofrecuencia con transceptores que al colocar el dispositivo transmisor en una de las conexiones eléctricas de un motor que se encontraba alejado a una distancia de más o menos de 40 metros al servidor IoT no hubo ningún percance en la transmisión y recepción de los datos. (Figura 28).



Figura 28. Prueba de transmisión, Recepción de datos

7.4. Plataforma web IoT pruebas

En la plataforma web se realizó una prueba con un motor el cual al enviar la información a la base de datos se obtuvo mediante la plataforma web los datos en tiempo real permitiendo hacer una comparación entre el consumo de energía nominal y el consumo de energía real. Lo anterior permitió ver si el motor estaba funcionando

con los valores adecuados tanto de corriente como de voltaje, además de ver si el consumo de energía estaba acorde con los valores de funcionamiento óptimos. Con los valores obtenidos se pueden tomar decisiones como el de hacer una revisión eléctrica, mantenimiento al motor en fin medidas que permitan mejorar el uso eficiente de la energía eléctrica en el proceso de beneficio del café. (Figura 29).



Figura 29. Reporte consumo de energía eléctrica

CONCLUSIONES

- En la actualidad, la gestión de los recursos energéticos para cualquier organización es muy importante. En el caso concreto de Colombia, el sector agrícola ha incorporado nueva maquinaria y equipos, que han provocado un incremento en el consumo de electricidad. Por esta razón, en este sector se requiere de nuevas alternativas tecnológicas que ayuden a administrar eficientemente el consumo de energía, y a contribuir al desarrollo sostenible de los diferentes sistemas agrícolas.
- Con base en este estudio, es posible decir que la tecnología IoT es útil para establecer soluciones en el sector agrícola y/o agroindustrial. En este proyecto, se diseñó una solución IoT para monitorear el consumo energético en el proceso de beneficiado de café. Inicialmente se realizó el modelado del proceso en la finca experimental finca experimental (Los Naranjos), ubicada en el Parque Tecnológico del Café – TECNICAFÉ, y se estimaron los consumos significativos de energía eléctrica. Esto permitió determinar que los motores que más consumen electricidad son: la guardiola 2, con un 9%; el lavador de café 1, con un 9%; el tornillo sin fin pulpa, con un 6%; la guardiola 1-A, con un 5%; y la guardiola 1-B, con 5%. Esta caracterización es primordial, para establecer en que motores se instalaran los primeros prototipos de la solución IoT.
- Con este análisis, fue posible diseñar la aplicación IoT, que tiene como características principales, en la comunicación RF (Radio Frecuencia). Este dispositivo mide y monitorea en tiempo real el consumo de energía eléctrica de cada máquina utilizado en el proceso de beneficio de café de una forma estable y segura.

BIBLIOGRAFIA

Aubia Jordi. (2014). MF0946_3 - Evaluación del prototipo, control de calidad y documentación del ... - Jordi Aubia i de Higes Equipo Editorial - Google Libros. Retrieved from <https://books.google.com.co/books?id=k7hWDwAAQBAJ&pg=PA16&dq=plataformas+informáticas&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiln5TUqJPeAhWwxVkkHaYjAycQ6AEIJzAA#v=onepage&q=plataformas+informáticas&f=false>

Cardenas Diaz Juan Pablo, P. P. J. D. (2014). CARACTERIZACIÓN DE LAS ETAPAS DE FERMENTACIÓN Y SECADO DEL CAFÉ LA PRIMAVERA. *British Journal of Psychiatry*. [https://doi.org/10.1192/bjp.205.1.76^a](https://doi.org/10.1192/bjp.205.1.76a)

Cardenas, J. (n.d.). *Industria del cafe en Colombia*.

Enriquez Harper, G. (1998). [El ABC de ls instalaciones eléctricas residenciales]. *Nucleic Acids Research* (Vol. 34).

Fermín Koop. (2013). Artículos de Fermín Koop en Revista Claves21. Retrieved November 2, 2018, from <http://claves21.com.ar/author/ferminkoop/>

Guía ambiental para el sector cafetero | Federación Nacional de cafeteros. (2017). Retrieved November 2, 2018, from https://www.federaciondefcafeteros.org/caficultores/es/servicios_para_el_cafetero/documentacion/

Martínez, Y., Cachero, C., & Meliá, S. (2011). Evidencia empírica sobre mejoras en productividad y calidad en enfoques MDD : un mapeo sistemático Empiric evidence on productivity and quality improvements, 7.

Petersen, K., Feldt, R., Mujtaba, S., & Mattsson, M. (2008). *Systematic Mapping Studies in Software Engineering*, 8, pp.68-77.

Rótolo, G. C., & Francis, C. (2008). *Los servicios ecosistémicos en el “corazón” agrícola de Argentina*. (E. INTA, Ed.).

Sampieri, R. H., Collado, C. F., Lucio, P. B., & Pérez, M. de la L. C. (1998). *Metodología de la investigación* (Mcgraw-hil).

Torres, G. (2009). *Buenas prácticas para la 1 Producción de café*. (E. F. Solidaridad., Ed.).

Vega, M. C., Vivas, P. O., Ríos, C. M., Luis, C. G., Martín, B. C., & Seco, A. H. (2015). *las tecnologías IoT*.

Wieringa, R., Maiden, N., Mead, N., & Rolland, C. (2006). Requirements engineering paper classification and evaluation criteria: A proposal and a discussion. *Requirements Engineering*, 11(1), 102–107. <https://doi.org/10.1007/s00766-005-0021-6>

ANEXOS

ANEXO 1. Circuito Esquemático del monitor de consumo de energía.

