BIORREACTOR AUTOMATIZADO PARA LA FERMENTACIÓN CONTROLADA DE CAFÉ

UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Autor
Juan Sebastián Hernández Moya
Yeison Stiven Bermúdez Luna

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
Facultad Tecnológica
Ingeniería en Control y Automatización

Bogotá D.C. Abril, 2023

BIORREACTOR AUTOMATIZADO PARA LA FERMENTACIÓN CONTROLADA DE CAFÉ

UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Autor
Juan Sebastián Hernández Moya
20192383007, jushernandezm@udistrital.edu.co
Yeison Stiven Bermúdez Luna
20192383002, ysbermudezl@udistrital.edu.co

Modalidad
Monografía

Presentado para optar al título de:
Ingeniero(a) en Control y Automatización

Director
Ing. Eduardo Alberto Delgadillo Gómez

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
Facultad Tecnológica
Ingeniería en Control y Automatización
Bogotá D.C. Abril, 2023

Índice

Índice 3
Índice de Figuras 4
Índice de Anexos 5
Resumen 6
Abstract 6
1. Introducción 7
2. Planteamiento del problema 8
3. Justificación 8
4. Objetivos 9
4.1. Objetivo General 9
4.2. Objetivos específicos 9
5. Marco de referencia 9
5.1. Antecedentes 9
5.2. Marco teórico 12
5.2.1 Definiciones de Fermentación 12
5.2.2 Aplicación de la Fermentación en Industrias Alimentarias 13
5.2.3 Fermentación en Café 14
5.2.4 Fermentación Controlada de Café 15
5.2.5 Definiciones de Biorreactor 19
5.2.6 Automatización 20
5.2.7 Adquisición de Datos 21
7.2.8 Industria 4.0 22
5.3. Marco Legal 22
6. Metodología 23
6.1 Obtención de Variables 23
6.2 Transmisión de Datos 25
6.3 Análisis y Procesamiento de Datos 25
6.4 Upload de Datos a la Nube 28
6.5 Interfaz de Usuario 28
7. Resultados 30
7.1 Propuesta Definitiva 30
7.2 Pruebas 32
7.3 Impacto de la solución 34
8. Conclusiones y Recomendaciones 35
9. Referencias 36
10. Anexos 39

Índice de Figuras

FIG 1. Métodos tradicionales para determinar la finalización de la fermentación. 15
FIG 2. Grados Brix en el café según su estado de maduración. 17
FIG 3. Valor de Ph en la fermentación del café a través del tiempo. 18
FIG 4. Concentración de alcohol en la fermentación del café a través del tiempo. 18
FIG 5. Biorreactor de laboratorio vs Biorreactor industrial. 19
FIG 6. Pirámide de Automatización 20
FIG 7. Proceso de adquisición de Datos. 21
FIG 8. Diagrama de Bloque de la Solución. 23
FIG 9. Diagrama Esquemático Obtención de Variables 23
FIG 10. Tarjeta Obtención de Variables. 24
FIG 11. Diagrama de Bloques Obtención de Variables. 24
FIG 12. Comunicación Serial Arduino – Raspberry 25
FIG 13. Inicialización NodeRed 25
FIG 14. Entrada Serial NodeRed 26
FIG 15. Nodos Programación NodeRed. 26
FIG 16. Tarjeta recepción de señales de la Raspberry y activación actuadores. 27
FIG 17. Flujograma programación. 27
FIG 18. Nodos envio de datos a Drive 28
FIG 19. Registro y tabulación de Datos en Drive. 28
FIG 20. Vista interfaz versión web. 29
FIG 21. Vista interfaz versión Móvil 29
FIG 22. Registro de variables cada hora 30
FIG 23. Prototipo de biorreactor propuesta definitiva 31
FIG 24. Interfaz propuesta definitiva 31
FIG 25. Montaje prueba 32
FIG 26. Resultados días 1 y 2 de funcionamiento. 32
FIG 27. Resultados día 5 - activación de dosificación. 33
FIG 28. Resultado corrección de Ph. 34
FIG 29. Producto resultante. 34

Índice de Anexos

10.1 Anexo 1: Montaje 39
10.2 Anexo 2: Explicaciones de Programación 41

Resumen

A pesar de que el café es el producto base de Colombia, su procesamiento desde la recolección hasta el producto final es un proceso tradicional y poco industrializado aun cuando ya existen avances y estudios que comprueban la mejora del producto. En el caso de la fase de fermentación se evidencia que llevar a cabo este proceso controlando las variables que intervienen en él, representa una mejora en la calidad del sabor y disminución de defectos físicos.

Al no existir una herramienta asequible para el productor de café que facilite un registro de datos y llevar a cabo una fermentación exitosa y replicable, este proyecto se basa en desarrollar un prototipo de Biorreactor automatizado para la fermentación de café, que permita visualizar, controlar y monitorear las variables que intervienen en el proceso, con el fin de brindar una ayuda tecnológica al productor de café para llevar a cabo una fermentación controlada y mejorar la calidad del producto.

La solución desarrollada es un dispositivo robusto y confiable que permite además del registro continuo de datos durante el proceso de fermentación, una visualización en tiempo real de los sensores y actuadores, los cuales nos facilitan controlar las variables de temperatura, presión, PH, grados brix y alcohol en los parámetros y valores de ajuste deseados.

Palabras claves: Automatización, Biorreactor, Control, Fermentación, NodeRed.

Abstract

Even though the coffee is the base product of Colombia, its processing from harvesting to the final product is a traditional and little-industrialized process, even though there are already advances and studies that prove the improvement of the product. In the case of the fermentation phase, it is evident that carrying out this process controlling the variables that intervene in it, represents an improvement in the quality of the cup and a decrease in physical defects.

In the absence of an affordable tool for the coffee producer that facilitates data recording and carrying out a successful and replicable fermentation, this project is based on developing a prototype of an automated Bioreactor for coffee fermentation, which allows to visualize, control and monitor the variables involved in the process, in order to provide technological assistance to the coffee producer to carry out a controlled fermentation and improve the quality of the product.

The solution developed is a robust and reliable device that allows, in addition to the continuous recording of data during the fermentation process, a real-time visualization of the sensors and actuators, which make it easier for us to control the variables of temperature, pressure, PH, brix degrees. and alcohol in the parameters and desired adjustment values.

Keywords: Automation, Bioreactor, Control, Fermentation, NodeRed.

1. Introducción

Las fermentaciones son procesos metabólicos de las levaduras y de las bacterias que transforman compuestos químicos orgánicos, principalmente azucares, en otras sustancias orgánicas más simples como etanol, ácido láctico, ácido barítico, etc. Los procesos de fermentación han sido usados por el hombre desde hace miles de años, con el fin de preservar los alimentos y para producir bebidas y comestibles con sabores, texturas y aromas específicos, como el yogur, quesos, kumis, chocolate, cerveza, vinos, panes y encurtidos. [19].

Durante el procesamiento del café en la finca, los granos despulpados se mantienen hasta su lavado, inmersos en el mucílago, aquí es donde ocurre la fermentación. Mediante la práctica de procesos de fermentación, lavado y secado controlados, se obtienen bebidas de café con aromas y sabores de buena calidad y especiales. Por el contrario, cuando se realizan mezclas de sustratos, se sobrepasa el tiempo de fermentación, no se controlan los factores y no se conocen los cambios que ocurren en este proceso, se pueden generar defectos en la calidad, como el grano manchado y vinagre, y los sabores agrio y fermento en la bebida [23].

El proceso de beneficio de café en Colombia se realiza en la mayor parte de forma tradicional, en el caso de la fase de fermentación, se deja el grano en taques, bolsas o tolvas durante determinado tiempo (única variable a tener en cuenta) sin saber que ocurra en la masa fermentativa. En este proceso intervienen directamente variables que son importantes tener en cuenta en el momento de querer replicar un proceso exitoso o en caso contrario de que el resultado no sea el deseado, evitar esos límites en el próximo ejercicio. A demás de estas ventajas, controlar estas variables también garantiza crear un ambiente ideal para que convivan los microorganismos que intervienen en la fermentación (levaduras y/o bacterias) y así acelerar su reproducción y efecto, permitiendo reducir tiempos y a su vez optimizar producción. Estas variables a tener en cuenta son, entre otras, presión, ph, grados brix y alcohol [23].

2. Planteamiento del problema

La fermentación es un proceso bioquímico en el que intervienen bacterias y levaduras que se alimentan de sustratos orgánicos con altos contenidos de azúcares. Estos microorganismos producen enzimas, estas permiten degradar sustratos complejos como la pectina, el almidón y la fructuosa presentes en la cáscara y la pulpa de las frutas. Durante el proceso de fermentación estos compuestos orgánicos se convierten en azúcares menos complejos, ácidos orgánicos y alcohol. También se producen sustancias olorosas, como son los aldehídos, cetonas y esteres. El yogurt, el vino, la cerveza, el tequila, el ron y el aguardiente son bebidas fermentadas [1].

En el caso del café la fermentación puede ser utilizada antes o después de la fase del despulpado para mejorar el sabor y para ayudar a desprender el mucílago de la semilla, en este proceso intervienen diferentes variables como tiempo, temperatura, presión, alcohol, ph, concentración de sacarosa, entre otras, que son importantes controlar y manipular para obtener un resultado exitoso. Es un hecho que realizar un proceso de fermentación controlada mejora la calidad y productividad, dos factores que representan incrementos en ingresos a los caficultores en el momento de comercializar el producto, pero aun así no se le está dando la debida importancia en muchas fincas productoras en Colombia, esto es debido principalmente a que no se cuenta con la correspondiente capacitación de cómo realizar correctamente este proceso, y en otra medida se debe a la falta de recursos y equipos que faciliten llevar a cabo en buen término la fermentación [2].

Esto deja como consecuencia la necesidad de desarrollar una herramienta tecnológica y automatizada que permita al productor de café visualizar, controlar y manipular las variables del proceso de fermentación, para así asegurar disminución en defectos físicos y un aumento en la calidad del producto final.

3. Justificación

La investigación se enfocará en entregar un equipo eficiente, confiable y asequible que integre variables como: temperatura, grados brix, ph, alcohol y presión, que se puedan visualizar, manipular y controlar, ya que actualmente no se encuentra un dispositivo similar que integre dichas características.

Esto permitirá al productor realizar y controlar diferentes curvas o tipos de fermentación, a su vez permite llevar un registro de estos datos y tomar conclusiones de los mejores resultados. También se busca garantizar que se puedan replicar los casos de éxito.

Esto representará mejores ingresos para el productor de café debido a que en las compras de café se bonifica por la calidad en sabor y por el factor de rendimiento que cuantifica la cantidad de defectos físicos.

4. Objetivos

4.1. Objetivo General

- Desarrollar un prototipo de Biorreactor automatizado para la fermentación de café, que permita controlar y monitorear las variables de temperatura, PH, grados brix, presión y alcohol, con el fin de mejorar la calidad del producto.

4.2. Objetivos específicos

- Realizar la adquisición de datos de los sensores para controlar las variables que intervienen en el proceso de fermentación

- Efectuar un control de las variables temperatura, ph, presión y grados brix por medio de los actuadores del proceso.

- Implementar un protocolo de comunicación basado en el internet de las cosas (Nodered), para la supervisión de los datos tomados en campo.

- Diseñar una interfaz de monitoreo donde se pueda visualizar el proceso, las variables y los indicadores del sistema en tiempo real.

5. Marco de referencia

5.1. Antecedentes

Se realizó una indagación por diferentes referencias bibliográficas acerca de cuanto se ha avanzado y tecnificado en el tema de la fermentación en el café en Colombia y a nivel mundial y se expondrán quince de las más relevantes por su cercanía con el propósito de este proyecto. El primer gran tema abordado es en la importancia de la fermentación en alimentos y se exponen los siguientes ejemplos. En el trabajo realizado por cenicafé en [3] se expone que, por siglos, la humanidad ha usado el proceso de fermentación para dar sabor, aroma, modificar la textura y conservar la calidad de los alimentos y bebidas. La fermentación también influye en la calidad del café. Mediante la tecnología de la fermentación controlada del café se pueden producir bebidas con aromas y sabores especiales, dulces, cítricos, frutales y tostados, que agregan valor y consistencia a la calidad del producto. Por otro lado, en [4] se tiene un avance significativo debido a que te proyecto busca controlar el proceso de fermentación del mucílago de café en un tanque, con el fin de obtener un café de excelente calidad. El proceso se desea automatizar, de manera que, con base en pruebas realizadas con diferentes valores de las variables a trabajar (temperatura, pH y tiempo) a través de la adquisición de datos en el software LabVIEW, se obtengan unos rangos o puntos limitados de las variables que permiten generar las propiedades deseadas en el grano; posteriormente, se procederá a crear el código de control

con la ayuda de la interfaz gráfica de LabVIEW, de manera que al final, el operario indique los valores de las variables y Penagos los programe y el sistema automáticamente controle los niveles de pH, temperatura y tiempo para alcanzar los valores deseados. El objetivo del trabajo realizado en [5] fue diseñar un dispositivo fermentador inteligente con tecnología de fermentación controlada para estandarizar procesos de fermentación de cafés de especialidad. Para ello se realizó un estudio con diseño descriptivo comparativo con enfoque basado en desarrollo tecnológico que se dividió en cuatro etapas de construcción y para validarlo se utilizaron 150 kilos batch de grado de café despulpado fresco. Se logró construir un dispositivo fermentador inteligente con tecnología de fermentación controlada para estandarizar procesos de fermentación de cafés de especialidad con el que se aplica un protocolo de funcionamiento de prototipo eficiente, con la capacidad de estandarizar procesos de fermentación controlada para cafés de especialidad. También se toma como ejemplo la siguiente tesis [6] enfocada en la fermentación de cacao, pero resulta útil porque su objetivo es presentar una propuesta innovadora crear un prototipo que fermente granos de cacao. Este prototipo tiene la finalidad de elevar la calidad del producto final (granos de cacao con calidad de exportación), mejorando las condiciones del proceso de fermentación. En el primer capítulo se presenta una información general pero indispensable a cerca del estudio del proceso actual de fermentación, y de los factores y variables que influyen en este proceso.

En el tema de la elaboración de biorreactores para la fermentación de alimentos se indaga en los siguientes trabajos que justifican la elaboración de estos dispositivos para realizar procesos correctos. En [7] hay un gran interés en los procesos de fermentación en medio sólido por los altos rendimientos que se han obtenido en la producción de metabolitos de alto valor agregado de interés industrial, por lo que se han llevado a cabo investigaciones en el diseño de biorreactores en busca de que sean aplicados a nivel industrial. En el presente trabajo se llevó a cabo una revisión de los principales equipos diseñados para los bioprocesos en cultivo sólido. En este trabajo [8], se formula una estrategia integral de diseño de biorreactores con el objeto de obtener procesos más eficientes desde un punto de vista técnico, energético y ambiental. La estrategia incluye una modificación del método convencional de diseño de biorreactores continuos de tanque agitado, en el cual las condiciones de operación se determinan con base en el análisis de estabilidad del biosistema. La fermentación en biorreactores puede mejorar la calidad del café [9], estandarizar el proceso de fermentación y generar cafés especiales. Este trabajo tuvo como objetivo evaluar nuevos biorreactores de acero inoxidable con inoculantes y no inoculados. Cafés procesados vía natural y despulpados naturales. Las poblaciones de levaduras y bacterias fueron evaluadas y cultivadas en extracto de levadura peptona glucosa; De Man, Rogosa y Sharpe; y medios de agar nutritivo. Compuestos volátiles de los granos tostados se analizaron en un equipo de Cromatografía de Gases-Espectrometría de Masas, y el sensor la percepción se evaluó a través de una prueba de taza. La población de bacterias mesófilas fue estadísticamente significativa en café natural despulpado en comparación con levadura y bacterias ácido-lácticas. Los furanos tenían la concentración más alta entre los grupos químicos La bebida inoculada con CCMA 0535 presentó la puntuación SCA más alta. Ciruela, melocotón y floral. atributos solo fueron percibidos en Nat CCMA 0535. La percepción sensorial indicó que las levaduras inoculadas modificaron los atributos de sabor, mejoraron la calidad y aumentaron sus puntajes SCA. El objetivo de este trabajo [11] es diseñar

un fermentador en acero inoxidable que permita mejorar las condiciones del proceso de fermentación de los granos de cacao, sin alterar su calidad final. Para ello se ha realizado un estudio de los diferentes parámetros que influyen en la etapa de fermentación. La propuesta del diseño del fermentador facilita la remoción, la aireación de los granos, monitorea el aumento de temperatura y la producción de CO2 y Oxígeno.

Otros trabajos que se han enfocado en la mejora de la calidad del café y que justifican los objetivos del proyecto son los siguiente : la fermentación en el café influye en la calidad del mismo [10], produciendo bebidas con aromas y sabores especiales dando valor y consistencia al producto, es por ello que se ejecutó esta Investigación para desarrollar el objetivo general que es mejorar la calidad sensorial realizando la fermentación en el café (Coffea Arábica) de la variedad catimor con adición de piña (Ananas Comosus). El proyecto de investigación se realizó en el distrito de San José de Lourdes-San Ignacio- Cajamarca y el análisis sensorial en el laboratorio de la Cooperativa Cenfrocafé localizada en la Provincia de Jaén. Se tomó como indicadores el tiempo de fermentación del café, la relación piña-café, las características organolépticas, rendimiento físico y económico. Los datos y la información recolectada fueron obtenidos a partir de la aplicación del formato de captación y el análisis de los datos se analizaron con la prueba de Friedman mediante la ayuda del programa estadístico SPSS Statistics. La etapa de fermentación se considera uno de los pasos críticos en el procesamiento del café debido a su impacto en la calidad final del producto. El objetivo de este trabajo [12] es caracterizar los gradientes de temperatura en un tanque de fermentación por sensores inalámbricos multidistribuidos, de bajo costo y autónomos una metodología innovadora basada en fase. Se utilizan diagramas espaciales. Un verdadero proceso de fermentación del café. fue supervisada en la región del Cauca (Colombia) con sensores sumergido directamente en la masa de fermentación, lo que lleva a una temperatura de 4,6 °C rango de temperatura dentro del proceso de fermentación. Espacial la interpolación muestra una temperatura radial instantánea máxima gradiente de 0,1 °C/cm desde el centro hasta el perímetro del tanque y un gradiente de temperatura vertical de 0,25 °C/cm para sensores con coordenadas polares iguales. La combinación de La interpolación espacial y los gráficos de espacio de fase permiten de manera consistente la identificación de cinco comportamientos locales durante la fermentación (puntos fríos y calientes). En [13] se estudió la degradación de cafeína en Pulpa de Café (PC) fresca (PF) y ensilada (PE) utilizando la Fermentación en Medio Sólido (FMS). Se probó el tratamiento térmico y diferentes niveles de inóculo en FU.'). Por este método de fermentación fue posible degradar 95 % de la cafeína en PE y 55 % usando PF con la cepa de Pentcillium com une (V33A25) sin un tratamiento térmico previo y después de 10 días de incubación. Además, la presencia de actividades enzimáticas tanasa (tanin-acil hidrolasa) y exopeptidasa mostro que el hongo es capaz de utilizar además pectinas y taninos presentes en la Pc. En [14] se determinó el efecto que ejercen los procesos tradicionales de fermentación de café sobre la calidad sensorial del grano en las variedades Caturra y Castillo cultivadas en siete (7) municipios del departamento de Nariño, los cuales se clasificaron en dos clústeres agroclimáticos (clúster A≤1650 y B=1651–2100 m.s.n.m.). Se realizó un seguimiento de las variables: temperatura, pH, concentración de ácido láctico y glucosa cada tres horas de proceso. Las muestras fueron evaluadas en su calidad sensorial final. El tiempo de fermentación promedio fue de 18,75±3,2 horas para Caturra y 18,94±3,4 horas para Castillo. El pH

disminuyó durante la fermentación, desde 5,5±0,35 y 5,6±0,26 hasta 4,4±0,34 y 4,4±0,5 para Caturra y Castillo, respectivamente. La temperatura ambiental se ubicó en un rango de 19,1 a 21,1ºC (clúster A) y 17,9 a 20,1ºC (clúster B). La concentración de ácido láctico incrementó después de doce (12) horas de proceso, alcanzando 6278,08 mg/L y 4435,6 mg/L para Caturra y Castillo, respectivamente. La concentración de glucosa disminuyó con el tiempo desde 7089,1 y 7025 mg/L hasta 2158,56 y 2766 mg/L para Caturra y Castillo respectivamente. No se evidenciaron diferencias significativas en la calidad final de las muestras de café analizadas.El beneficio húmedo es determinante en el desarrollo de atributos en el café que pueden traducirse en mejores precios en mercados internacionales. En este estudio [15] se evaluaron las condiciones de fermentación controlada en café variedad Caturra, cuyo principal objetivo fue determinar el efecto de la fermentación asistida en sus características fisicoquímicas y sensoriales. El estudio se realizó en la Finca Kotowa, Boquete, Panamá. Se analizaron dos procesos de fermentación (lavado y natural) con o sin la adición de inóculo (levadura) y tratamientos control sin fermentación, con tres repeticiones. Durante los 6 días de fermentación se realizaron mediciones de pH, temperatura interna y sólidos solubles y análisis microbiológicos al iniciar y al finalizar el proceso. Después del periodo de secado, se efectuaron análisis de fenoles totales y cafeína. Finalmente, se realizó la evaluación sensorial (captación) en café tostado. Se evidenció una reducción de sólidos solubles, temperatura interna y pH durante la fermentación. El documento presentado tiene como objetivo dar a conocer en síntesis el proyecto de investigación realizado a partir del proceso desmucilaginador del café. Principalmente se destaca la importancia de los métodos tradicionales y las variables pueden afectar dicho producto en su etapa final, conforme a ello y respecto a la necesidad observada en campo, se hace necesaria la creación de un prototipo de máquina de fermentación en frio de café en lotes de 5 kilos dirigida al municipio de Matituy – Nariño, que conste principalmente en generar una técnica controlada de fermentación de café en frio que extraiga el mucilago sin perjudicar la semilla.

5.2. Marco teórico

5.2.1 Definiciones de Fermentación

Las fermentaciones son procesos metabólicos de las levaduras y de las bacterias que transforman compuestos químicos orgánicos, principalmente azucares, en otras sustancias orgánicas más simples como etanol, ácido láctico, ácido barítico, etc.

Los procesos de fermentación han sido usados por el hombre desde hace miles de años, con el fin de preservar los alimentos y para producir bebidas y comestibles con sabores, texturas y aromas específicos, como el yogur, quesos, kumis, chocolate, cerveza, vinos, panes y encurtidos. En los últimos siglos, mediante las fermentaciones se han desarrollado diversos antibióticos, medicamentos, ácidos y combustibles, entre otros productos industriales [19].

Desde un punto de vista bioquímico como el proceso de generación de energía en el que los compuestos orgánicos actúan tanto como donadores como aceptores terminales de electrones. Una definición más amplia es la de Microbiología Industrial, cualquier proceso utilizado para la producción de productos mediante cultivo de microorganismos. La cerveza y la producción de disolventes orgánicos pueden ser descritos como fermentaciones en ambos sentidos de la

palabra, pero la descripción de un proceso aeróbico como fermentación es obviamente utilizada de una forma más amplia en el contexto microbiológico [20].

La fermentación se puede definir como la transformación que sufren ciertas materias orgánicas bajo la acción de enzimas segregadas por microorganismos. Se trata pues de un proceso de naturaleza bioquímica. La fermentación tiene lugar en ambiente anaeróbico, con degradación de la sustancia orgánica en compuestos intermedios que actúan de donadores y aceptores de electrones (proceso de óxido-reducción) con liberación de energía. Los sustratos de las fermentaciones se incuban en bandejas, tanques o en recintos de temperatura y humedad relativa controladas. Los sustratos líquidos se incuban en tanques de acero inoxidable o en fermentadores cilíndricos agitados. [21]

5.2.2 Aplicación de la Fermentación en Industrias Alimentarias

5.2.2.1 Productos derivados de la fermentación alcohólica. Los sustratos a partir de los cuales se produce la fermentación son en todos los casos hidratos de carbono, pero difieren de unos productos a otros como también son distintas las levaduras que realizan la fermentación y los requisitos que se les exigen. [21] Existen:

- Vinos y sidras. En la obtención de vinos y sidras el sustrato de la fermentación alcohólica son glucosa y fructosa. De forma tradicional, la transformación de los mostos se ha desarrollado como un fenómeno espontáneo, por medio de levaduras indígenas.
- Cervezas. En el caso de la cerveza, las materias primas además del lúpulo y agua son malta y otros cereales, por lo tanto, en este caso el sustrato lo constituyen la maltosa y la maltotriosa.
- Bebidas destiladas. Las bebidas destiladas aparecieron con el alambique. El fundamento de su proceso de elaboración es la diferente riqueza en sustancias volátiles entre las fases líquida y vapor de un producto calentado, lo que permite recoger el alcohol y los compuestos aromáticos de los productos vegetales fermentados.
- Productos de panadería. Las fermentaciones tradicionales del pan se llevaban a cabo por los microorganismos presentes en la harina, este sistema fermentativo está compuesto por levaduras y un complejo de bacterias, principalmente lácticas.

5.2.2.2 Productos derivados de la fermentación láctica. La fermentación láctica es el proceso básico de fabricación de diversos productos de origen vegetal y animal. Los fermentos lácticos presentan una gran importancia en la industria alimentaria [21], los fermentos comerciales disponibles son, según el producto industrial a obtener:

- Mesófilos. Están constituidos esencialmente por algunos Leuconostoc (Ln. citrovorum, Ln. dextranicum) y algunos Lactobacillus (Lb. lactis y cremoris).
- Termófilos. Incluyen la especie thermophitlus y los Lactobaciilus (Lb. delbrueckii, subespecie bulgaricus, Lb. lactis, Lb. helveticus y Lb. acidophilus).

5.2.3 Fermentación en Café

En café, en la etapa de fermentación que se desarrolla en el beneficio húmedo, ocurren varios procesos de transformación del mucílago, que incluyen despolimerizaciones, fermentaciones, oxidaciones, cambios fisicoquímicos y se producen ácidos y otros compuestos. De esta forma, el mucílago se descompone y se desprende del grano, y las sustancias formadas se eliminan de los granos por medio del lavado. El tipo y la cantidad de las sustancias producidas en la fermentación dependen de los microorganismos, de la calidad del sustrato y de las condiciones en el beneficio del café.

La separación del mucílago del grano de café es necesaria en el beneficio húmedo, para facilitar el secado del grano y producir bebidas suaves, y además, es crítica para la calidad del grano y de la bebida, debido a que cualquier defecto que se ocasione por falta de control es un daño irreversible, que no se puede modificar en los procesos siguientes del beneficio, ni en la preparación de la bebida. Los defectos más comunes que se originan por fermentaciones no controladas son los granos vinagres, manchados y decolorados, y los aromas y sabores agrios, a cebolla, a sucio, rancio y el conocido nauseabundo o stinker [19].

El café baba o despulpado contiene el mucílago que es la materia prima que se fermenta. La calidad y cantidad de esta materia prima depende de varios factores, principalmente de la madurez del fruto y del control en el despulpado. El promedio de la proporción en peso del mucílago en el fruto de café fresco verde es de 1,26%, en el pintón 8,31%, en el maduro alcanza 10,00% y en el sobremaduro 8,99%, mientras que en el fruto seco en el árbol o en el suelo no hay mucílago. Con respecto al café despulpado, el mucílago representa en promedio el 14,80%, 18,19% y 16,70% del peso húmedo de los granos pintones, maduros y sobremaduros, respectivamente.

El mucílago de café fresco contiene cerca de 90% de agua, 1% de proteínas, 0,45% de minerales, 0,1% de lípidos y 8% a 10% de carbohidratos, con 2,4% a 7,4% de azúcares reductores. De otra parte, los principales microorganismos del mucílago de café son levaduras Saccharomyces, Torulopsis, Candida y Rhodotorula; las bacterias LactobacillUs, Enterobacteriaceae, StaphylococcUs y StreptococcUs; y algunos hongos, cuyo recuento depende de la manipulación de los frutos de café durante la recolección y de las condiciones en que permanecen los granos en el beneficio del café.

Es necesario precisar que el mucílago de café no es degradado completamente durante las 14 a 18 horas de la fermentación natural. Sin embargo, este tiempo es suficiente para facilitar su desprendimiento del grano y para eliminar las sustancias formadas mediante el lavado, y así producir café de muy buena calidad [19].

Para determinar el momento en el cual se debe lavar el café, es decir, el momento en el cual se debe de terminar el proceso de fermentación, el caficultor debe recurrir a métodos tradicionales, que se han utilizado para determinar de forma fácil, pero subjetiva, el punto de lavado [22]. Estos métodos tradicionales son: método de la estabilidad de un agujero realizado en la masa de café con un madero (a) y la respuesta al tacto (b) mostrados en la Figura 1.

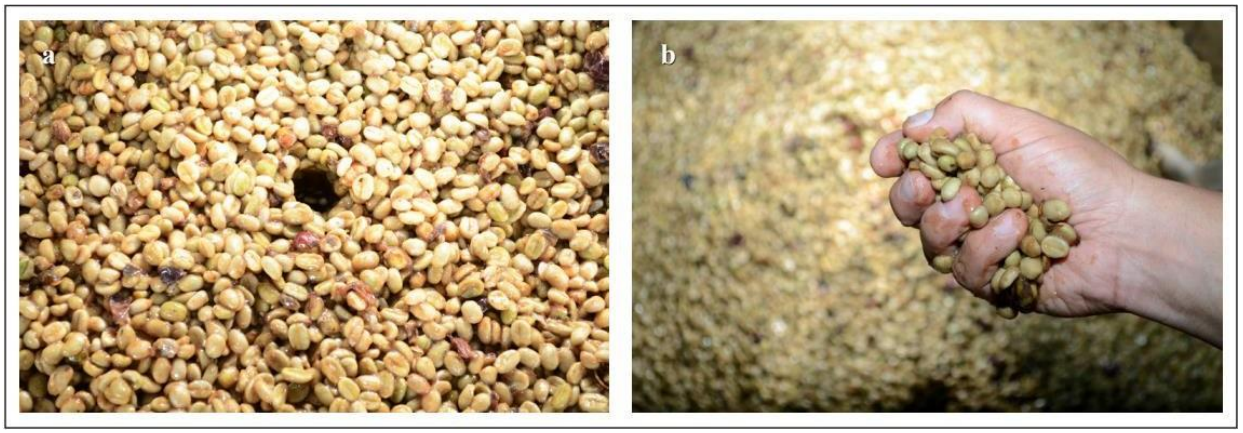


FIG 1. Métodos tradicionales para determinar la finalización de la fermentación.
[22]

El método de la estabilidad de un agujero realizado en la masa de café con un madero, consiste en verificar que la masa no se mueva ni destruya el agujero realizado y el método del tacto consiste en verificar que el grano empiece a tener texturas más ásperas y menos babosas, los dos métodos son subjetivos, interrumpen indirectamente el proceso de fermentación y además que puede generar contaminaciones, lo cual hace evidente la necesidad de parametrizar más variables que hagan menos subjetivo la determinación del proceso final de la fermentación.

5.2.4 Fermentación Controlada de Café

Durante el beneficio del café, los granos despulpados se mantienen hasta su lavado, inmersos en el mucílago fermentado, que contiene los diversos productos de la fermentación. Mediante la práctica de procesos de fermentación, lavado y secado controlados, se obtienen bebidas de café con aromas y sabores de buena calidad y especiales. Por el contrario, cuando se realizan mezclas de sustratos, se sobrepasa el tiempo de fermentación, no se controlan los factores y no se conocen los cambios que ocurren en este proceso, se pueden generar defectos en la calidad, como el grano manchado y vinagre, y los sabores agrio y fermento en la bebida [23].
Factores y Variables que intervienen en la Fermentación del Café:
Se ilustran a continuación varios aspectos de los procesos microbiológicos y químicos de la fermentación del café, en relación con factores de temperatura ambiente, higiene, tiempo y sistema de fermentación y se dan recomendaciones y buenas prácticas para el control de este proceso [23].

- Sustrato: La materia prima del proceso de fermentación está compuesta por los granos de café despulpados que contienen el mucílago que se fermenta. Los granos de café en baba contienen cantidades variables de mucílago y su calidad depende de la frescura y los controles en el beneficio y despulpado; la presencia de pulpa y de residuos de insecticidas y otras sustancias en el café en baba, influyen en los productos de fermentación, y por consiguiente, en los sabores y aromas del café.

- Microorganismos: Los microorganismos del café en baba provienen de diferentes fuentes como suelo, aire, agua, vegetales, personas, animales, insectos, equipos, instalaciones y utensilios de beneficio. En el café despulpado se encuentran primordialmente levaduras y bacterias lácticas, pero también otras bacterias y algunos hongos. El recuento y la clase de microorganismos presentes en un momento dado de la fermentación del café dependen de la población inicial en los frutos y granos despulpados, de las condiciones ambientales como la temperatura, los gases como el CO2, la actividad del agua, el pH, el potencial redox, la higiene, del tiempo transcurrido y del sistema y la dilución del sustrato. Una zaranda en inadecuadas condiciones de higiene puede cambiar los recuentos y tipos de microorganismos del sustrato a fermentar.
- Temperatura: Los microorganismos fermentadores del café son mesófilos. La mayoría de las levaduras crecen entre 5 y 39°C, con óptimos de 28 a 35°C, algunas se desarrollan entre 3 y 10°C y todas mueren por encima de 50°C. Las bacterias lácticas crecen entre 25 y 30°C, pero pueden reproducirse a 0°C, mientras que las bacterias entéricas se desarrollan entre 22 y 37°C.
- Carbohidratos: Conforman del 7,5% al 9,8% del peso del mucílago fresco. Los carbohidratos del mucílago fresco contienen en promedio 47,9% de azúcares reductores, como la glucosa, la fructosa, la maltosa y la lactosa, un 29,8% de azúcares no reductores como la sacarosa, el 7,3% de fibra, y 15,0% de sustancias no fibrosas, como las sustancias pécticas. El mucílago no contiene almidón. Durante la fermentación, la glucosa y los monosacáridos son consumidos y oxidados, los disacáridos son degradados en monosacáridos y varios polisacáridos son hidrolizados. Sin embargo, aún después de 74 horas de proceso a temperatura ambiente, no todos los azúcares del mucílago de café se fermentan ni todas las sustancias pécticas se degradan.
- Azúcares: Los azúcares totales constituyen del 6,2% al 7,4% del peso húmedo del mucílago de café maduro y comprenden los azúcares reductores y los no reductores. Los azúcares reductores conforman del 4,0% al 4,6% del peso del mucílago fresco y son fermentados por las levaduras y bacterias para producir el etanol, el ácido láctico y otros compuestos. De otra parte, los azúcares no reductores como la sacarosa son degradados, primero por hidrólisis, y luego, por fermentación de los azúcares reductores obtenidos. La degradación de los azúcares del mucílago y la acidificación son los principales cambios en la composición química del mucílago durante la fermentación del café. La disminución del contenido de los azúcares del mucílago de café presenta un comportamiento exponencial con el tiempo de fermentación, que se explica por el consumo del sustrato y por el crecimiento y metabolismo de las bacterias y levaduras fermentadoras en el mucílago, a través del proceso.
- Grados Brix: Con los grados Brix se expresa el porcentaje de sacarosa en la caña de azúcar, las frutas y los jugos, y en los vinos su contenido de glucosa. Sin embargo, en un producto, los sólidos solubles en agua no están conformados sólo de azúcares. En café, los sólidos solubles del mucílago contienen principalmente sacarosa, glucosa, fructosa, ácidos málico, láctico, acético, succínico, oxálico, fórmico, fosfórico, galacturónico, etanol y otros alcoholes, ésteres, polisacáridos, proteínas y cenizas. Los grados Brix del mucílago de café fresco varían según el estado de maduración (Figura 2). En promedio, el mucílago del café pintón contiene menos °Brix (14,1%) que el

maduro (17,1%), y el sobremaduro más que el maduro (20,1%). Los grados Brix del mucílago de café fresco son un indicador de la madurez del grano despulpado y su medición durante la fermentación permite hacer seguimiento y control del proceso.

Variable medida	Grados Brix (%)			Densidad relativa		
Madurez del mucílago de café	Mín.	Máx.	Prom.	Mín.	Máx.	Prom.
Pintón	13,04	14,91	14,09A	0,58	1,27	0,91A
Maduro	14,63	18,62	17,05B	1,35	1,43	1,38B
Sobremaduro	18,81	21,23	20,10C	1,18	1,50	1,26B

FIG 2. Grados Brix en el café según su estado de maduración.
[23]

- PH: El valor del pH se mide en un potenciómetro o pH- metro y mediante tiras de color que están impregnadas de reactivos indicadores especiales. El pH del café en baba fresco es ácido, con valores que dependen de la madurez, del tiempo entre la recolección y el despulpado, y de la manipulación de los frutos y granos en baba; así, el café en baba clasificado sólo por zaranda presenta pH entre 4,9 y 5,6, con un promedio de 5,2; mientras que los granos en baba obtenidos de frutos clasificados con agua y después de despulpados por zaranda tienen un pH de 5,1 a 5,6, y un promedio de 5,4. Por su parte, en sistemas sumergidos, cuando para la fermentación se agrega agua en un 30% del peso de café en baba, el pH inicial es de 5,3 a 5,5 y para 50% alcanza valores de 5,6 a 6,0. Durante la fermentación del café, el pH del sustrato disminuye más rápido en las primeras 20 horas, por la formación y disociación de ácidos, principalmente el ácido láctico que se genera en las fermentaciones lácticas, el ácido acético que se produce en las heterolácticas y en la acetificación del alcohol, por el ácido málico presente en los granos de café y otros generados en el metabolismo celular como el cítrico, oxálico, fórmico, fosfórico y succínico; también por el ácido propiónico cuando se fermenta el ácido láctico y por el butírico de la fermentación butírica. Es más fuerte el efecto en el pH del ácido láctico que del ácido acético.

La variación del pH durante la fermentación del café es diferente dependiendo de la calidad del grano en baba, del sistema y de la temperatura externa (Tabla 2). Así, los sistemas de sustrato sólido (sin adición de agua) son más heterogéneos que los sistemas sumergidos y, por consiguiente, el rango de variación del pH es más amplio para cualquier tiempo. Los sistemas sumergidos inician con un valor de pH mayor que los sistemas sin agua; en los sistemas abiertos la disminución del pH es más lenta que en los cerrados, y a mayor temperatura externa la disminución del pH en la fermentación es más rápida.

En la fermentación del café el pH del mucílago disminuye hasta un valor que depende del sistema y de la temperatura de fermentación. Posteriormente, el pH del mucílago de café fermentado aumenta debido a la fermentación del ácido láctico, a la eliminación del dióxido de carbono, a la producción de otros ácidos más débiles, a sales y sustancias básicas que se disuelven y por otras degradaciones.

En general, valores de pH del mucílago fermentado entre 3,7 y 4,1 son adecuados y seguros para interrumpir la fermentación y lavar el café (Figura 3).

Tiempo de fermentación en horas	Sistema de fermentación							
	sin agua	30% agua	50% agua	sin agua	30% agua	50% agua	sin agua	50% agua
	Clasificado por zaranda			Clasificado por sifón y zaranda				
	22 a 25 °C			22 a 25 °C			17 a 19 °C	
0	5,00	5,23	5,43	5,36	5,41	5,81	5,58	5,66
12	4,07	4,42	4,49	3,92	4,39	4,68	4,52	4,65
14	3,95	4,30	4,37	3,76	4,29	4,54	4,39	4,53
16	3,85	4,18	4,27	3,64	4,20	4,40	4,28	4,42
18	3,76	4,06	4,19	3,54	4,13	4,28	4,19	4,31
20	3,68	3,95	4,11	3,47	4,07	4,17	4,11	4,22
22	3,62	3,84	4,05	3,44	4,04	4,07	4,04	4,15
24	3,56	3,74	4,00	3,43	4,02	3,99	4,00	4,08
26	3,52	3,63	3,97	3,45	4,02	3,91	3,96	4,03
28	3,49	3,53	3,94	3,50	4,04	3,85	3,94	3,99
30	3,48	3,44	3,93	3,58	4,07	3,80	3,94	3,96

FIG 3. Valor de Ph en la fermentación del café a través del tiempo.
[23]

- Alcohol: El mucílago de café fresco contiene de 0,08% a 0,15% de alcohol, con un promedio de 0,12%. La curva que representa la formación de alcohol durante la fermentación del mucílago de café a temperatura ambiente de 20,5°C (Figura 6), muestra un aumento de la producción de alcohol en forma exponencial, luego se alcanza la máxima producción y posteriormente la concentración del producto en el sustrato se mantiene prácticamente constante. La velocidad máxima de producción de etanol se presenta a las 22 horas; la máxima concentración de alcohol se produce a las 120 horas, con un valor de 0,50%; a las 44 horas se obtiene una concentración de 0,45% casi constante hasta las 74 horas de fermentación cuando el valor es de 0,46%. La velocidad de producción de etanol decrece con el tiempo, debido al consumo del sustrato, a la reducción de las levaduras, a las condiciones ácidas y a la misma presencia del etanol en el sustrato.

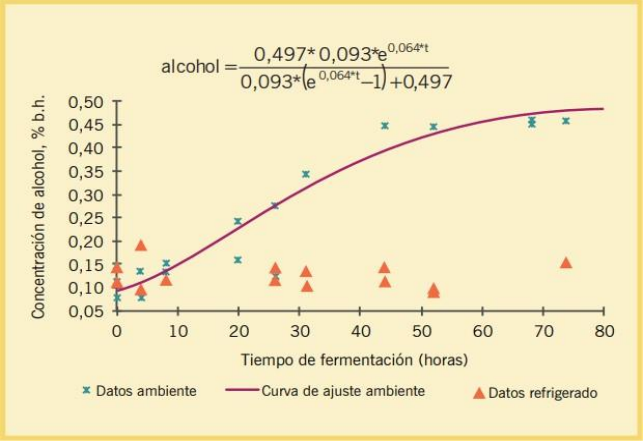


FIG 4. Concentración de alcohol en la fermentación del café a través del tiempo.
[23]

- Dióxido de Carbono: Se forma en las fermentaciones alcohólicas y heterolácticas, sale del medio en los sistemas abiertos, y en los sistemas cerrados contribuye a la acidificación del medio. Parte de las diferencias entre el peso del grano de café en baba a fermentar y después de la fermentación se deben a la formación y eliminación del CO2 a partir del mucílago.
- Tiempo: Se recomienda fijar las horas de fermentación del café en cada finca. Con esta práctica se logra producir café de buena calidad y con características consistentes, optimizar los tiempos de los procesos del café en la finca y controlar la formación de los granos vinagres y de sabores agrios y fermentos en la bebida de café.

5.2.5 Definiciones de Biorreactor

Un biorreactor o fermentador se define como "aquel dispositivo que proporciona un medioambiente controlado que permite el crecimiento eficaz de las células y la formación de un producto". El medio ambiente adecuado que proporciona un biorreactor tiene que tener niveles óptimos de temperatura, pH, sustrato, sales, y oxígeno, para así convertir las materias primas en productos específicos (metabolitos) de interés [24].

Un biorreactor o fermentador es el centro de todo proceso biotecnológico. Su función principal es proveer un ambiente controlado para alcanzar el máximo de crecimiento microbiano y/o para la formación óptima de productos. Además, el fermentador tiene como objetivo garantizar una condición estéril que permita únicamente el cultivo de la especie biológica de interés [24].

Los Biorreactores son los equipos donde se realiza el proceso de cultivo (también comúnmente denominado "fermentador"), sea en estado sólido o líquido. Su diseño debe ser tal que asegure homogeneidad entre los componentes del sistema y condiciones óptimas para el crecimiento microbiano y la obtención del producto deseado. Es importante tomar en cuenta los problemas de transferencia de calor y oxígeno sobre la cama de sustrato, los cuales dependen de las características de la matriz que se esté utilizando para la fermentación, siendo éste, uno los principales factores que afectan el diseño y las estrategias de control [26].

FIG 5. Biorreactor de laboratorio vs Biorreactor industrial.
[25]

5.2.6 Automatización

El concepto de automatización, corresponde a la necesidad de minimizar la intervención humana en los procesos de gobierno directo en la producción, vale decir, ahorrar esfuerzo laboral, en otra definición dice que la automatización industrial es considerada como el manejo de la información en las empresas para la toma de decisiones en tiempo real, incorpora la informática y el control automatizado para la ejecución autónoma y de forma Óptima de procesos deseñados según criterios de ingeniería y en consonancia con los planes de la dirección empresarial [29].

- Modelo de un Sistema Automatizado: La estructura de un Sistema Automatizado puede clasificarse en dos partes claramente diferenciadas: por un lado, lo que se denomina Parte Operativa, formada por un conjunto de dispositivos, máquinas o subprocesos, diseñados para la realización de determinadas funciones de fabricación; de forma específica pueden tratarse de máquinas herramienta para la realización de operaciones de mecanizado más o menos sofisticadas o bien de subprocesos dedicados a tareas tales como destilación, fundición etc. Por otro lado, se tiene la Parte de Control o Mando, que, independientemente de su implementación tecnológica electrónica, neumática, hidráulica etc., es el dispositivo encargado de realizar la coordinación de las distintas operaciones encaminadas a mantener a la Parte Operativa bajo control [28].

- Pirámide de automatización Industrial: permite representar todos los componentes que intervienen en la automatización de un proceso industrial. Está formada por el nivel inferior, conocido como nivel 0 o nivel de campo en el cual se encuentran los instrumentos que recogen las señales que son enviadas al nivel 1 formado por los controladores (PLCs, RTUs,..) que contienen la lógica o inteligencia. En el nivel 2 se encuentran los sistemas de supervisión, y adquisición de datos (SCADA). En el nivel 3 se encuentran los sistemas de operación. En el nivel 4 se encuentran los sistemas de información de la organización (ERP) [16].

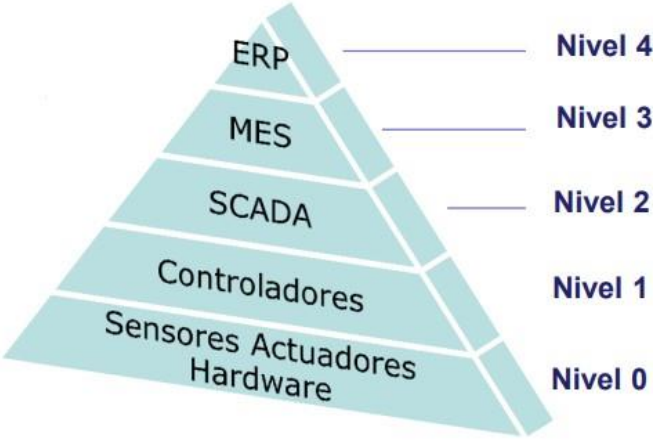


FIG 6. Pirámide de Automatización
[16]

5.2.7 Adquisición de Datos

La adquisición de datos o adquisición de señales consiste en la toma de muestras del mundo real (sistema analógico) para generar datos que puedan ser manipulados por un ordenador u otros sistemas electrónicos (sistema digital). Consiste, en tomar un conjunto de señales físicas, convertirlas en variables eléctricas y digitalizadas y procesadas por un ordenador. Una vez adquirida la señas esta requiere una etapa de acondicionamiento, que adecua la señal a niveles compatibles con el elemento que hace la transformación a señal digital. El elemento que hace dicha transformación es el módulo de Digitalización o tarjeta de Adquisición de Datos (DAQ) [27]. El proceso de adquisición de datos presenta las siguientes etapas:

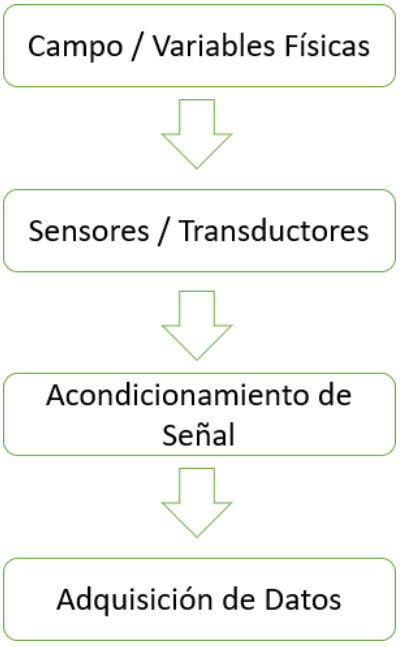


FIG 7. Proceso de adquisición de Datos.
[Fuente Autor]

- Sensores o Transductores: tienen la función de convertir la variable física que se desea registrar en una magnitud eléctrica (voltaje, corriente, resistencia, capacidad, Inductancia, etc.). Entre las magnitudes físicas que pueden ser medidas a través de variables eléctricas están: temperatura, humedad, presión, concentración, iluminación, flujo, posición, nivel, tiempo, la aceleración, peso, etc. De este mismo modo los sensores pueden ser de corriente, de voltaje o resistivos.

- Acondicionamiento de Señal: Esta fase lo que realiza es la preparación de la señal con el fin de extraer los datos que tienen la información y eliminar las señales no deseadas (ruido), esta etapa implica varios procesos, los cuales son: Amplificación, aislamiento, multiplexado, filtrado, conversión a/d y d/a, y selección de parámetros.

- Tarjeta de adquisición: actúan como la interfaz entre una computadora y señales físicas, es decir, la información recaudada por el sensor se pasa al DAQ, el cual se encarga de transformar los códigos del mundo real a los códigos digitales, como si se tratara de un intérprete que traduce de un lenguaje a otro, con el fin de que el sistema digital (es decir, cualquier computadora o dispositivo electrónico) sea capaz de comprender los signos del analógico. Las tarjetas de adquisición de datos consisten en tres partes principales: por un lado, está el circuito de acondicionamiento de señales, después está el convertidor analógico-digital (ADC por sus siglas en inglés) y, finalmente, el bus del ordenador.

7.2.8 Industria 4.0

Es un proyecto que surgió para promover la informatización de las industrias tradicionales, como es la manufactura. El objetivo final es lograr la fabricación inteligente, que se caracteriza por la adaptación, eficiencia de recursos, la ergonomía y la integración de los clientes y socios en los procesos empresariales. La base tecnológica de Industria 4.0 corresponde a la conexión de los sistemas ciber físicos e internet de las cosas. Una característica de la producción industrial en un entorno Industria 4.0 es la presencia de un nivel elevado de personalización de los productos en condiciones de producción flexible. La tecnología de automatización que se requiere se basará en el empleo de métodos de auto optimización, autoconfiguración, autodiagnóstico y el apoyo inteligente de los trabajadores en su trabajo cada vez más complejo [30].

5.3. Marco Legal

- IPC A-620: Esta norma es un conjunto de requisitos de calidad visual de aceptabilidad de cable, y ensamblaje de arnés.

- IPC A-610C: La norma Ilustra los requisitos para muchos tipos de conexiones de soldadura.

- NTC 4066: Esta norma consiste en la “Seguridad de Soldadura y Corte”, norma que ayudará en la prevención de problemas en la incorporación de componentes a la PCB.

- Norma 4819 de 2005: Norma que indica todos los debidos procedimientos para la recolección, fermentación y la distribución del café en Colombia.

6. Metodología

Para su correcto funcionamiento el proyecto tiene unas etapas que siguen cierto orden desde la obtención de datos de los sensores hasta una interfaz web. Se diseño un diagrama de bloques que se puede analizar en la figura 8.

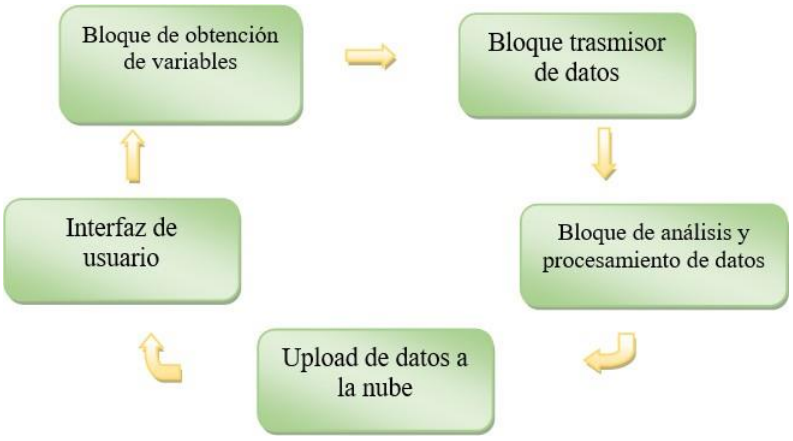


FIG 8. Diagrama de Bloque de la Solución.
[Fuente Autor]

6.1 Obtención de Variables

Se da inicio con la toma de valores de los sensores de PH (SEN0161), temperatura (DS18B20), presión (MPX5700DP) y alcohol (MQ3) en el tanque biorreactor de café, por medio del Arduino UNO, los cuales son alimentados a 5 voltios por la misma placa de Arduino y su explicación al detalle se encuentra en el Anexo2.
Se diseñó en Proteus las conexiones del circuito para la posterior creación de la tarjeta como se muestra en la figura 9.

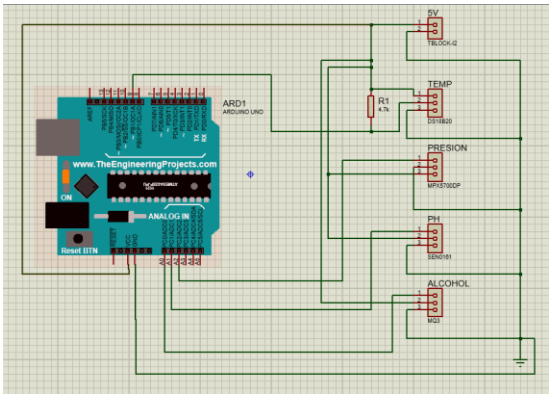


FIG 9. Diagrama Esquemático Obtención de Variables

[Fuente Autor]

FIG 10. Tarjeta Obtención de Variables.
[Fuente Autor]

Luego de hacer la correspondiente captura de datos por las entradas análogas y digitales se hace la comunicación vía serial hacia la Raspberry Pi 4.

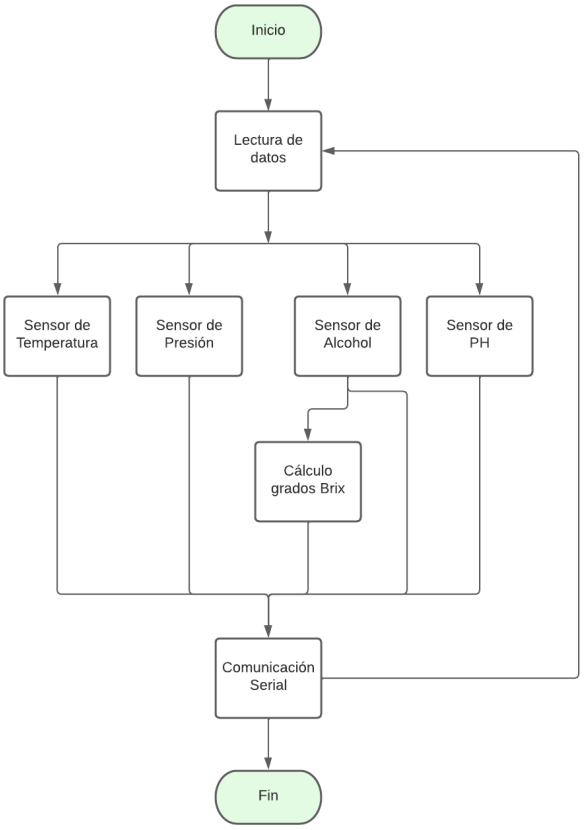


FIG 11. Diagrama de Bloques Obtención de Variables.

[Fuente Autor]

6.2 Transmisión de Datos

La comunicación entre la tarjeta Arduino UNO y la Raspberry Pi 4 se realizó de forma serial (Fig12) debido a su practicidad y a que las dos tarjetas se encuentran en la misma caja de control del dispositivo desarrollado. El Arduino envía los datos de cada uno de los sensores separados por comas, para así facilitar la recepción de los mismos en la Raspberry Pi 4, la cual separa cada uno de los datos y los acomoda en un Array para así facilitar su análisis y procesamiento.

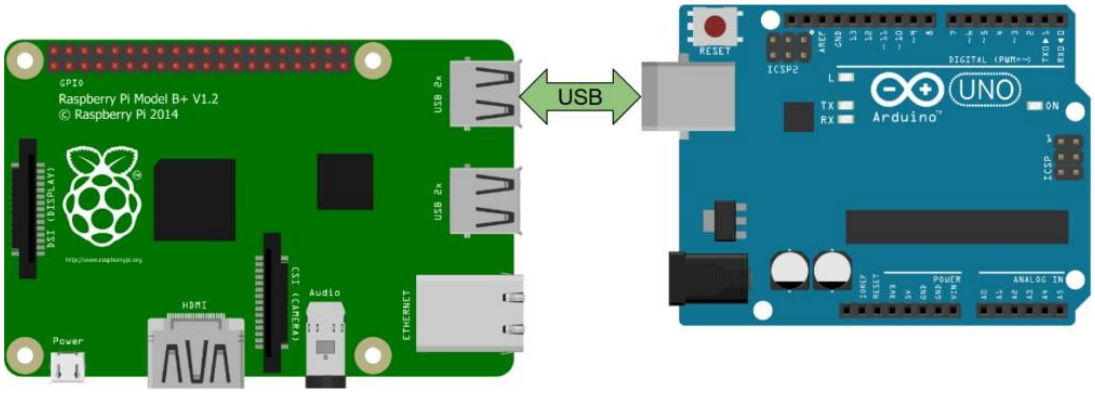
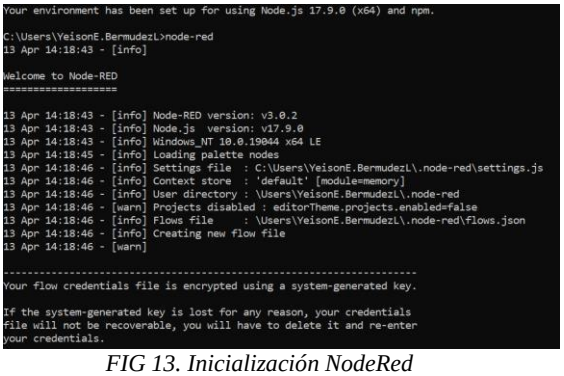


FIG 12. Comunicación Serial Arduino – Raspberry
[Fuente Autor]

6.3 Análisis y Procesamiento de Datos

En esta etapa se realiza la parametrización de las variables recibidas y el control de los actuadores (válvulas de dosificación, válvula de alivio, y motobomba de recirculación). Esto se realizó en Node Red la cual es una aplicación del Internet de las cosas (IoT). Se instala Node Red en la Raspberry y se hace la respectiva inicialización de la aplicación.

Cuando se corre el programa Node-RED y se dispone en modo “Run” este brinda una dirección IP local la cual está libre para acceder desde la red a la cual está conectada la Raspberry PI como se muestra en la siguiente figura.



```
Your environment has been set up for using Node.js 17.9.0 (x64) and npm.

C:\Users\YeisonE.BermudezL>node-red
13 Apr 14:18:43 - [info]

Welcome to Node-RED
===================

13 Apr 14:18:43 - [info] Node-RED version: v3.0.2
13 Apr 14:18:43 - [info] Node.js  version: v17.9.0
13 Apr 14:18:43 - [info] Windows_NT 10.0.19044 x64 LE
13 Apr 14:18:45 - [info] Loading palette nodes
13 Apr 14:18:46 - [info] Settings file  : C:\Users\YeisonE.BermudezL\.node-red\settings.js
13 Apr 14:18:46 - [info] Context store  : 'default' [module=memory]
13 Apr 14:18:46 - [info] User directory : \Users\YeisonE.BermudezL\.node-red
13 Apr 14:18:46 - [warn] Projects disabled : editorTheme.projects.enabled=false
13 Apr 14:18:46 - [info] Flows file     : \Users\YeisonE.BermudezL\.node-red\flows.json
13 Apr 14:18:46 - [info] Creating new flow file
13 Apr 14:18:46 - [warn]

---------------------------------------------------------------------
Your flow credentials file is encrypted using a system-generated key.

If the system-generated key is lost for any reason, your credentials
file will not be recoverable, you will have to delete it and re-enter
your credentials.
```

FIG 13. Inicialización NodeRed
[Fuente Autor]

Ya en la interfaz del programa se realiza respectiva programación de las variables y el control de los actuadores con los parámetros asignados para controlar y visualizar el proceso. Para la programación se arrastra una entrada serial para la recepción de los datos como se muestra en la figura (14).

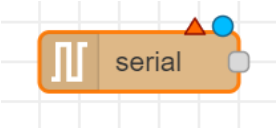


FIG 14. Entrada Serial NodeRed
[Fuente Autor]

De allí se derivarán funciones para cada variable, donde se hace la lectura de los datos recibidos con los nodos llamados “Function”, luego se procede a hacer la conexión a los puertos GPIO de la Raspberry, asignándole un puerto a cada actuador que va a requerir activación, así mismo se crea una función a cada variable para la visualización en la Dashboard en forma de galga, led indicador, gráfica y tabla. Dentro de cada uno de estos nodos se encuentra la programación debida en lenguaje JavaScript, y su respectiva explicación al detalle se encuentra en el (Anexo2)

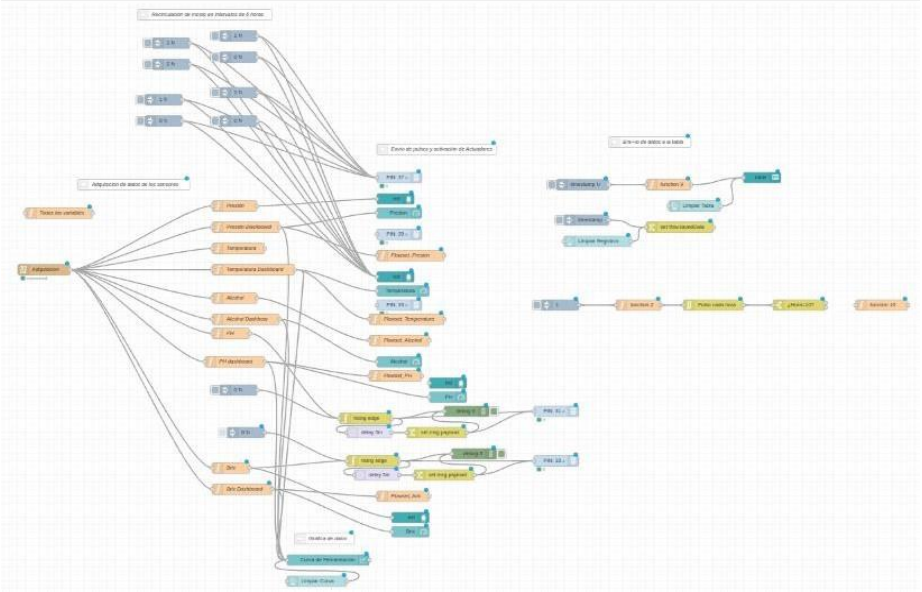


FIG 15. Nodos Programación NodeRed.
[Fuente Autor]

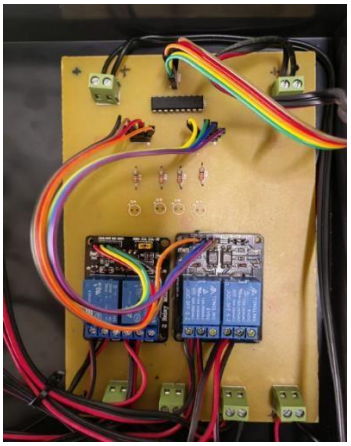


FIG 16. Tarjeta recepción de señales de la Raspberry y activación actuadores.
[Fuente Autor]

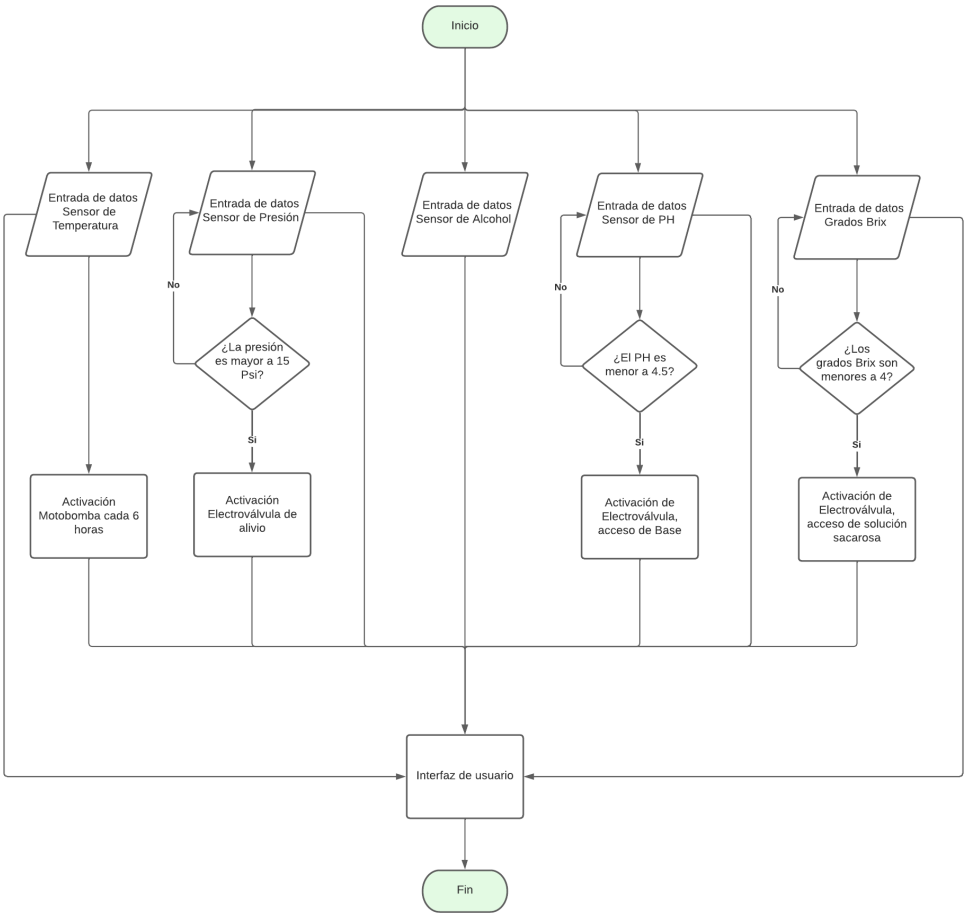


FIG 17. Flujograma programación.
[Fuente Autor]

6.4 Upload de Datos a la Nube

Además de la visualización de todo el proceso en el Dashboard, en Node-RED se agregaron unos nodos los cuales envían un archivo Excel a un drive específico con los datos tomados en una hora asignada en este caso cada 12 horas, a las 6 AM y 6PM respectivamente.

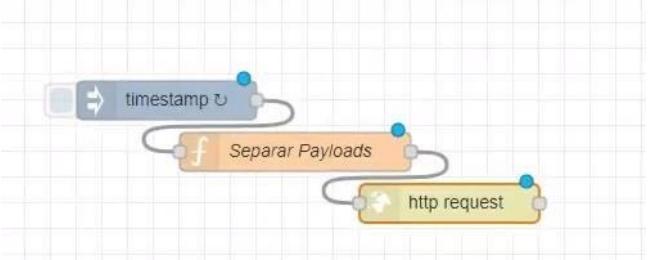
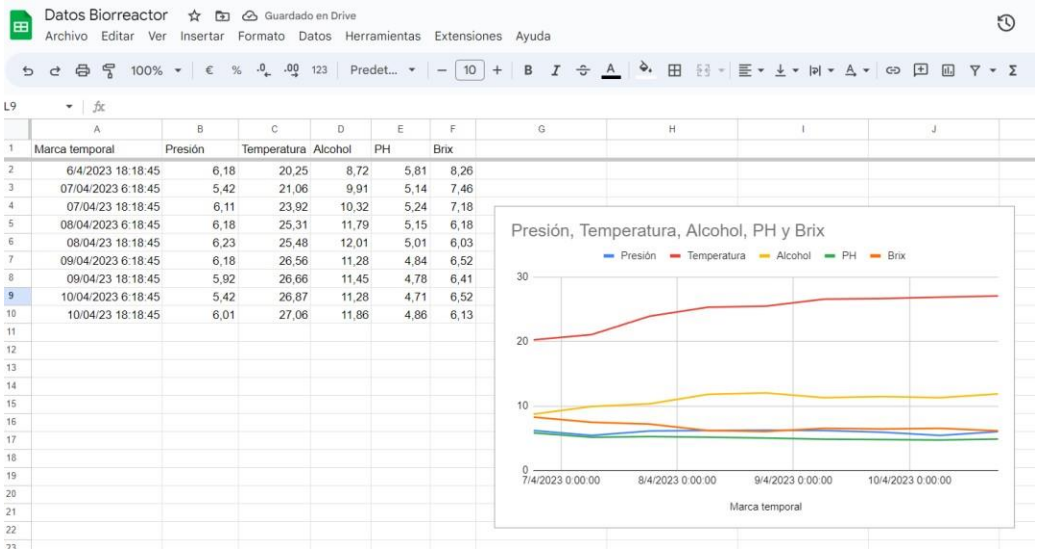


FIG 18. Nodos envio de datos a Drive.
[Fuente Autor]



Marca temporal	Presión	Temperatura	Alcohol	PH	Brix
6/4/2023 18:18:45	6,18	20,25	8,72	5,81	8,26
07/04/2023 6:18:45	5,42	21,06	9,91	5,14	7,46
07/04/23 18:18:45	6,11	23,92	10,32	5,24	7,18
08/04/2023 6:18:45	6,18	25,31	11,79	5,15	6,18
08/04/23 18:18:45	6,23	25,48	12,01	5,01	6,03
09/04/2023 6:18:45	6,18	26,56	11,28	4,84	6,52
09/04/23 18:18:45	5,92	26,66	11,45	4,78	6,41
10/04/2023 6:18:45	5,42	26,87	11,28	4,71	6,52
10/04/23 18:18:45	6,01	27,06	11,86	4,86	6,13

FIG 19. Registro y tabulación de Datos en Drive.
[Fuente Autor]

6.5 Interfaz de Usuario

Se desarrolló una interfaz de usuario a la cual se accede por medio de una dirección IP en la red local que brinda Node-RED, a la cual se puede acceder desde cualquier dispositivo que esté conectado a la misma red, ya sea Computador, Celular o Tablet.

En esta interfaz se puede apreciar el estado actual de cada una de las variables de los sensores, usando unas gráficas sencillas de comprender, donde se puede visualizar las unidades de cada una de ellas, así mismo se encuentran los estados de los actuadores con un led indicador que muestra si están activados o no.

Se aprecia una curva de fermentación donde se puede ver todo el comportamiento de las variables que actúan en el proceso durante un periodo de tiempo. También se encuentra una tabla que va tomando registro de los datos de todas las variables cada hora, para llevar un historial más minucioso de la actividad del biorreactor.

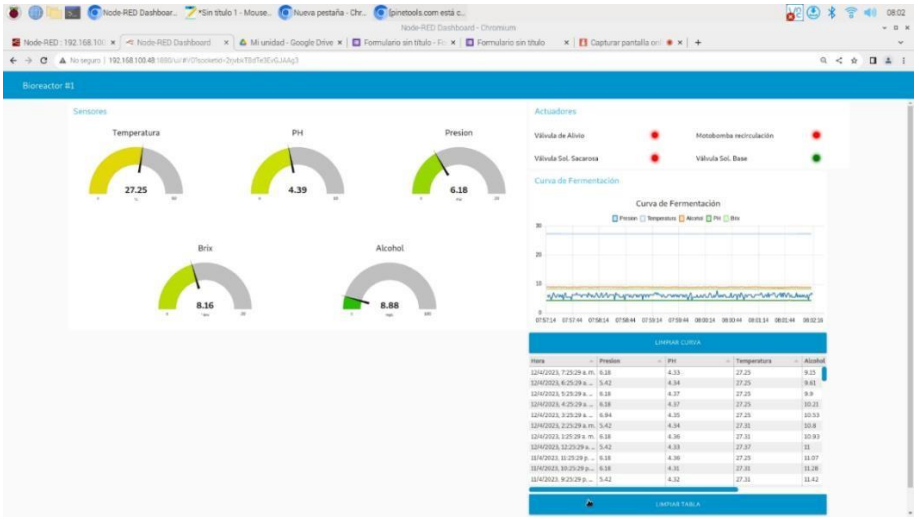


FIG 20. Vista interfaz versión web.
[Fuente Autor]

FIG 21. Vista interfaz versión Móvil.
[Fuente Autor]

Hora	Pr...	PH	T...	Alcohol	°Brix
11/4/2023, 12:14:07 ...	6.94	4.85	27.06	11.71	6.23
10/4/2023, 11:14:07 ...	6.18	4.88	27.06	11.79	6.18
10/4/2023, 10:14:07 ...	5.42	4.88	27.12	11.71	6.23
10/4/2023, 9:14:07 p....	5.42	5	27.06	11.79	6.18
10/4/2023, 8:14:07 p....	5.42	5.02	27.06	11.57	6.33
10/4/2023, 7:14:07 p....	6.94	4.99	27	11.71	6.23
10/4/2023, 6:13:38 p....	6.18	4.87	27	11.79	6.18

FIG 22. Registro de variables cada hora.
[Fuente Autor]

7. Resultados

7.1 Propuesta Definitiva

El dispositivo final es un prototipo de biorreactor automatizado realizado en un tanque de 220L de poliestireno de baja densidad grado alimenticio aprobado por la FDA, con base de acero A-36 con pintura electrostática y caja de control con las tarjetas y panel de leds, dotado con los siguientes sistemas, los cuales se muestran al detalle en el Anexo1.

- Sistema de banda calefactora: para controlar la temperatura de la masa
- Sistema de recirculación del mosto fermentativo: esto con el fin de tener un proceso más homogéneo se programa una recirculación cada seis horas, y para controlar la temperatura en caso de que se presenten temperaturas elevadas.
- Sensores de temperatura, presión, alcohol y PH, que se pueden visualizar a través de la interfaz donde además se almacenan en una tabla cada hora.
- Sistema de dosificación de solución base: controlada por una electroválvula permitirá el ingreso al tanque para controlar el PH en caso de que baje de los niveles requeridos.
- Sistema de dosificación de solución sacarosa: controlada por una electroválvula permitirá el ingreso al tanque para controlar los grados Brix en caso de que baje de los niveles requeridos.
- Válvula de alivio: Controlada por una electroválvula dejará salir aire cuando se superen los niveles establecidos
- Válvula de alivio análoga de seguridad: Se instala esta válvula de seguridad por si se presenta algún fallo de la energía electica y la electroválvula no pueda funcionar.
- Válvula de muestreo: cuenta con una válvula de bola manual que facilita la toma de muestras del mosto para hacer un seguimiento de microorganismos o cualquier análisis que se le desee practicar.
- Sistema de salida de producto: Cuenta con una válvula de bola manual en la parte inferior para facilitar la salida del producto cuando finalice el proceso.
- Cierre hermético: Cuenta con este sistema para evitar los escapes de presión.

- Conexión a internet: Se puede conectar a internet por cable de red o Wifi para transmitir los datos a la interfaz gráfica.
- Interfaz gráfica: Se puede visualizar desde cualquier dispositivo conectado a la misma red por medio de la URL del local host.
- Juego de Leds Indicadores: Cuenta con un panel de 4 leds que representan cada uno de los actuadores y se encienden en el momento que el actuador esté activo.

FIG 23. Prototipo de biorreactor propuesta definitiva
[Fuente Autor]

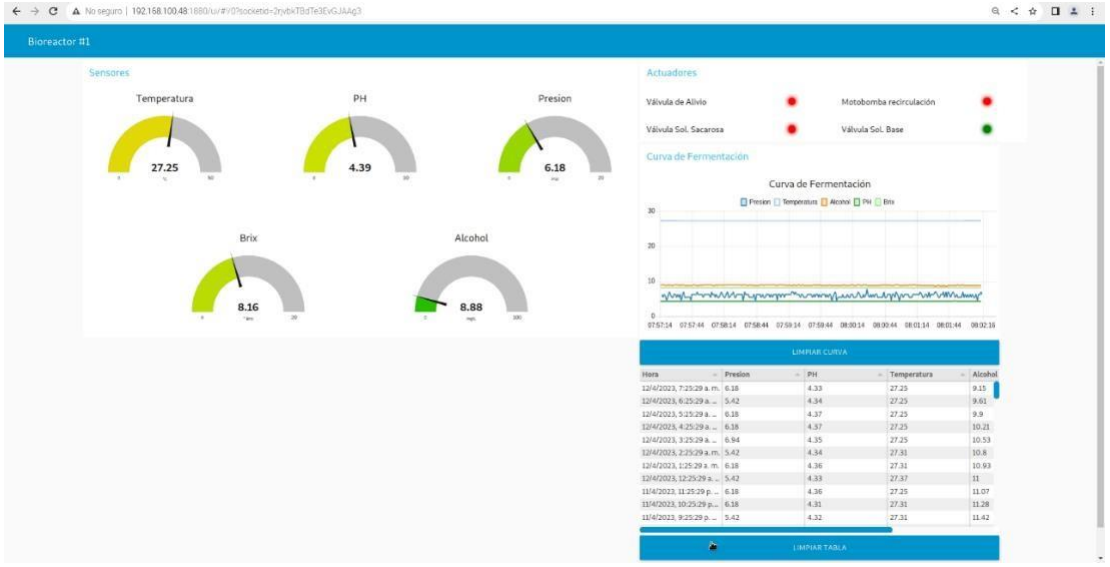


FIG 24. Interfaz propuesta definitiva.
[Fuente Autor]

7.2 Pruebas

Se realiza una prueba con 130 kilos de café variedad Borbón Rosado, sin despulpar proveniente de Palestina – Huila y se prepara una fermentación alcohólica (Levaduras) y se deja en funcionamiento continuo en un periodo de seis días iniciando el 6 de abril y finalizando el 12 de abril, con el fin de observar y comprobar el funcionamiento del biorreactor, sensores, actuadores y el registro de variables.

FIG 25. Montaje prueba.
[Fuente Autor]

En los primeros dos días de funcionamiento se presenta un excelente comportamiento del dispositivo, el único actuador que se ha activado es la motobomba de recirculación que está programado cada 6 horas, las variables aún no han salido de los límites establecidos para que los demás actuadores se activen. La presión se ha mantenido estable, el pH ha empezado a descender lentamente y la temperatura ha empezado a subir a punto de llegar al límite establecido.

Hora	Presion	PH	Temperatura	Alcohol
8/4/2023, 7:11:21 a. m.	6.18	5.16	25.56	
8/4/2023, 6:11:21 a. m.	6.18	5.15	25.5	
8/4/2023, 5:11:21 a. m.	6.18	5.17	25.37	
8/4/2023, 4:11:21 a. m.	6.18	5.16	25.31	
8/4/2023, 3:11:21 a. m.	6.94	5.19	25.25	
8/4/2023, 2:11:21 a. m.	5.42	5.19	25.12	
8/4/2023, 1:11:21 a. m.	6.18	5.19	25	
8/4/2023, 12:11:21 a. m.	5.42	5.18	24.94	
7/4/2023, 11:11:21 p. m.	6.18	5.23	24.81	
7/4/2023, 10:11:21 p. m.	6.18	5.24	24.69	
7/4/2023, 9:11:21 p. m.	6.18	5.24	24.56	

FIG 26. Resultados días 1 y 2 de funcionamiento.

[Fuente Autor]

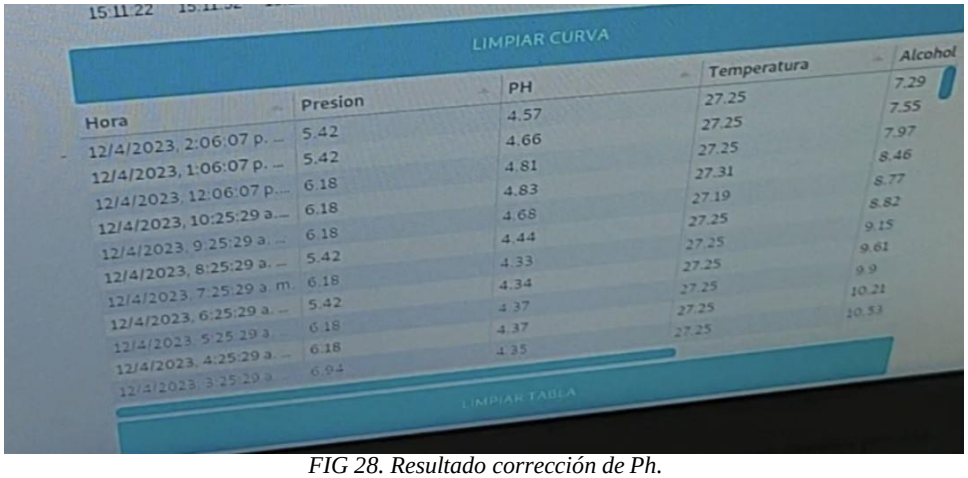
Se hace un seguimiento diario del biorreactor y se comprueba que su funcionamiento ha sido el adecuado. Se observa que la temperatura se mantiene constante en 27 °C, lo cual es el comportamiento ideal ya que las levaduras conviven idealmente en un rango de 25 a 30 °C. El valor de la presión también se mantiene estable, los grados brix y el ph descienden lentamente al paso de los días, pero no sobrepasan aun los valores establecidos.

Al completar 5 días de proceso, el valor de pH baja la barrera de 4.5, por lo cual se activa la válvula de solución base la cual permanecerá encendida por 5 minutos cada 6 horas hasta que el pH vuelva a subir al nivel establecido. Se programo de esta manera debido a que para este tipo de fermentación (con levaduras) el ph ideal es de 4,5 a 5,5 ara intervenir lentamente en la masa y esperando que la motobomba recirculara y homogenizara la solución añadida.

Hora	Presion	PH	Temperatura	Alcohol
12/4/2023, 7:25:29 a. m.	6.18	4.33	27.25	9.15
12/4/2023, 6:25:29 a. ...	5.42	4.34	27.25	9.61
12/4/2023, 5:25:29 a. ...	6.18	4.37	27.25	9.9
12/4/2023, 4:25:29 a. ...	6.18	4.37	27.25	10.21
12/4/2023, 3:25:29 a. ...	6.94	4.35	27.25	10.53
12/4/2023, 2:25:29 a. m.	5.42	4.34	27.31	10.8
12/4/2023, 1:25:29 a. m.	6.18	4.36	27.31	10.93
12/4/2023, 12:25:29 a. ...	5.42	4.33	27.37	11
11/4/2023, 11:25:29 p. ...	6.18	4.36	27.25	11.07
11/4/2023, 10:25:29 p....	6.18	4.31	27.31	11.28
11/4/2023, 9:25:29 p. ...	5.42	4.32	27.31	11.42

FIG 27. Resultados día 5 - activación de dosificación.
[Fuente Autor]

Finalmente, al transcurrir el día 6 de proceso, el pH vuelve a los valores deseados y comprobando el correcto funcionamiento continuo del dispositivo, se detiene la fermentación y el café pasa a su fase de secado.



Hora	Presion	PH	Temperatura	Alcohol
12/4/2023, 2:06:07 p. ...	5.42	4.57	27.25	7.29
12/4/2023, 1:06:07 p. ...	5.42	4.66	27.25	7.55
12/4/2023, 12:06:07 p....	6.18	4.81	27.25	7.97
12/4/2023, 10:25:29 a....	6.18	4.83	27.31	8.46
12/4/2023, 9:25:29 a. ...	6.18	4.68	27.19	8.77
12/4/2023, 8:25:29 a. ...	5.42	4.44	27.25	8.82
12/4/2023, 7:25:29 a. m.	6.18	4.33	27.25	9.15
12/4/2023, 6:25:29 a. ...	5.42	4.34	27.25	9.61
12/4/2023, 5:25:29 a. ...	6.18	4.37	27.25	9.9
12/4/2023, 4:25:29 a. ...	6.18	4.37	27.25	10.21
12/4/2023, 3:25:29 a. ...	6.94	4.35	27.25	10.53

FIG 28. Resultado corrección de Ph.
[Fuente Autor]

FIG 29. Producto resultante.
[Fuente Autor]

7.3 Impacto de la solución

El prototipo de biorreactor cumple con las expectativas y los objetivos propuestos, brindando una herramienta que suple las necesidades planteadas en el problema principal. Es por esto que el dispositivo se entregará en la finca Las Palmas en Palestina – Huila, finca escogida por el interés y conocimiento del productor en el tema de fermentación, también se le dará capacitación del uso del dispositivo para que le pueda sacar el mejor provecho.

8. Conclusiones y Recomendaciones

Las tecnologías actuales pueden ayudar diferentes campos de estudio, en este proyecto se adoptaron algunas de ellas, tanto de software como de hardware, implementándolas en la rama de la agricultura, con la ayuda de la tecnología del internet de las cosas y NodeRed se entrega un dispositivo físico con diferentes variables tomadas en campo conectado una interfaz gráfica que el usuario puede acceder desde su celular o computador conectándose a la dirección entregada.

Las variaciones del precio del café, la inflación actual, y otros factores, hacen que el proceso de cultivar y comercializar café no sea rentable para los productores. Los nuevos modelos de compra bonifican el precio cuando el café es de buena calidad y cumple ciertos requerimientos, es por esto que esta herramienta significa una inversión importante que se verá reflejada en mejores ingresos para los productores.

El dispositivo no garantiza que el producto resultante sea el de mejor calidad en su primer uso, pero si brinda una herramienta útil para corregir factores en futuras fermentaciones y facilita la replicabilidad del proceso, es por esto que se recomienda realizar varios experimentos y pruebas modificando las diferentes variables y el mejor resultado replicarlo de ahí en adelante.

Con el fin de evitar errores o daños, se recomienda no operar la caja de control o cualquier otro elemento sin autorización, también se sugiere seguir las instrucciones de operación dadas en el manual de usuario, donde también se encontrará las instrucciones del montaje y desmontaje, si es necesario transportarlo.

9. Referencias

[1] S. Gómez "Fermentación del Café. El secreto de la calidad en taza". Quecafe.info 2022

[2] N. Rosero and A. Pantoja, "Optimization-based parameter identification of a coffee fermentation model using evolutionary algorithms," in IFAC-PapersOnLine, Nov. 2021, vol. 54, no. 20, pp. 681–686. doi: 10.1016/j.ifacol.2021.11.250.

[3] "Fermentación controlada del café: Tecnología para agregar valor a la calidad", Accessed: jul. 24, 2022. [Online]. Available: www.cenicafe.org.

[4] D. Julieth and G. Parada, "Automatización Y Control de Sistema de Fermentación del Café".

[5] I. Carbajal-Guerreros, H. Pilco-Valles, F. A. García-Herrera, I. Coronel-Rufasto, J. R. Gonzales-Diaz, and L. Cabanillas-Pardo, "Fermentador inteligente con tecnología de fermentación controlada para estandarizar procesos de fermentación de cafés de especialidad," Revista agrotecnológica amazónica, vol. 2, no. 1, Jan. 2022, doi: 10.51252/raa.v2i1.303.

[6] J. Miguel Castillo Ramos, "Diseño de un Fermentador Orientado A Mejorar el Proceso de Fermentación del Cacao Criollo Blanco De Piura" Esta obra está bajo una licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional Repositorio institucional PIRHUA-Universidad de Piura."

[7] H. A. Ruíz-Leza, R. M. Rodríguez-Jasso, R. Rodríguez-Herrera, J. C. Contreras-Esquivel, and C. N. Aguilar, "Diseño de Biorreactores Para Fermentación en Medio Sólido - Bio-Reactors Desing For Solid State Fermentation," 2007.

[8] I. Cristina and P. Astudillo, "Diseño Integral de Biorreactores Continuos de Tanque Agitado Aplicados a Procesos de Fermentación." Universidad Nacional de Colombia. 2010

[9] S. J. Martinez, M. H. S. Rabelo, A. P. P. Bressani, M. C. B. da Mota, F. M. Borém, and R. F. Schwan, "Novel stainless steel tanks enhances coffee fermentation quality," Food Research International, vol. 139, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.foodres.2020.109921.

[10] LN Quinde Gutiérrez "La Fermentación en el Café" Repositorio Universidad Nacional De Piura, Perú 2020.

[11] J. Miguel Castillo Ramos, "Diseño de un Fermentador Orientado a Mejorar el Proceso de Fermentación del Cacao Criollo Blanco De Piura" Esta obra está bajo una licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional Repositorio institucional PIRHUA-Universidad de Piura."

[12] E. C. Correa et al., “Advanced Characterisation of a Coffee Fermenting Tank by Multi-distributed Wireless Sensors: Spatial Interpolation and Phase Space Graphs,” Food and Bioprocess Technology, vol. 7, no. 11, pp. 3166–3174, Oct. 2014, doi: 10.1007/s11947-014-1328-4.

[13] Y. G. Saucedo-Castafieda I, “365 Caffeine Oegradation in Fresh Ano Ensileo Coffee Pulp by Solid State Fermentation: Influence of Slibstrate Pretreatment Ano Inoculum Level,” 2000.

[14] N. M. Córdoba Castro and J. esteban Guerrero Fajardo, “Caracterización de los Procesos Tradicionales de Fermentación de Café en el Departamento de Nariño,” Biotecnoloía en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, vol. 14, no. 2, p. 75, 2016, doi: 10.18684/bsaa(14)75-83.

[15] J. B. Moreno, M. Sebastián, Z. Sarzosa Escuela, A. Panamericana, and Z. Honduras, “Evaluación de la fermentación controlada con inoculación de levaduras (Saccharomyces cerevisiae) y su efecto en la calidad del café (Coffea arabica),” 2020.

[16] O, Martinez “Diseño e implementación de un Prototipo de Máquina de Fermentación en Frío en Lotes de 5 Kilos en el Corregimiento de Matituy – Nariño” Corporación Universitaria Autónoma de Nariño “Art.IM132”.

[17] D. E. La, O. Mauricio, and M. Santana, “EL CAFÉ ANTES DE LA TAZA.” Inconexus SAS, Bogotá, 2018.

[18] M. de Hacienda et al., “Beneficio del café en Colombia”. 2015.

[19] G. Puerta “Fundamentos del proceso de fermentación en el beneficio del café”. Cenicafé 2010

[20] A. Esther, P. Martínez, Juan, R. S. Uribe; Jenny, and P. Pabón-Usaquén, “Método Para Identificar El Momento Final De La Fermentación De Mucílago De Café,” 2012.

[21] “Otras secciones de este sitio,” 2003.

[22] CEUPE Magazine “¿Qué es la fermentación?”. Centro Europeo de Posgrado y Empresa. 2022.

[23] G. Puerta, S. Marín “Factores, Procesos y Controles en la Fermentación del Café” FNC Cenicafé. 2012

[24] H. A. Ruíz-Leza, R. M. Rodríguez-Jasso, R. Rodríguez-Herrera, J. C. Contreras-Esquivel, and C. N. Aguilar, “DISEÑO DE BIORREACTORES PARA FERMENTACIÓN EN MEDIO SÓLIDO BIO-REACTORS DESING FOR SOLID STATE FERMENTATION,” 2007.

[25] A. Felipe and P. Franco, “SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y CONTROL DE LA PRÁCTICA DE LABORATORIO MOVIMIENTO UNIFORME Y UNIFORMEMENTE ACELERADO DEL LABORATORIO PHYSILAB,” 2012.

[26] C. Córdoba Nieto and E. Manufactura automatización, “Ingeniería e Investigación,” vol. 26, pp. 120–128, 2006, [Online]. Available: http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=64326315.

[27] Emilio. García Moreno and Universidad Politécnica de Valencia., Automatización de procesos industriales: robótica y automática. Universidad Politécnica de Valencia, 1999.

[28] G. Hoyos Salazar Kevin Hincapie Velásquez Diagramación and M. L. del Rosario Rodríguez, “Edición: Sandra Milena Marín López Fotografías.” [Online]. Available: www.cenicafe.org.

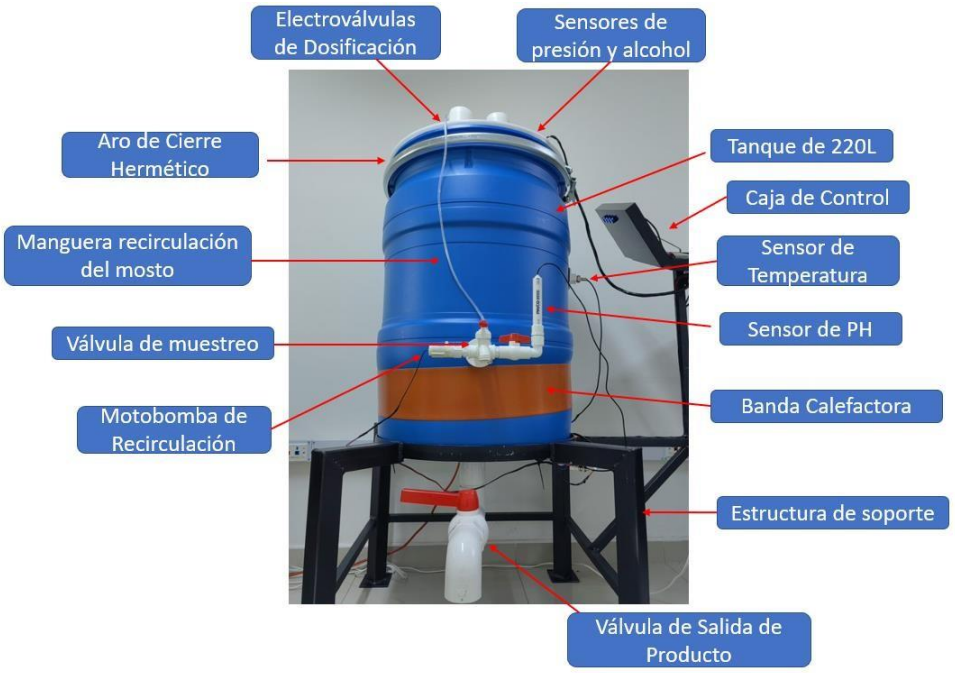
[29] E. Nieto “Manufactura y automatización - Manufacturing and automation” Universidad Nacional de Colombia 2006.

[30] K. S. Matsumoto and F. P. Malpica Sánchez, “Tecnología de Fermentaciones Alimentarias.”

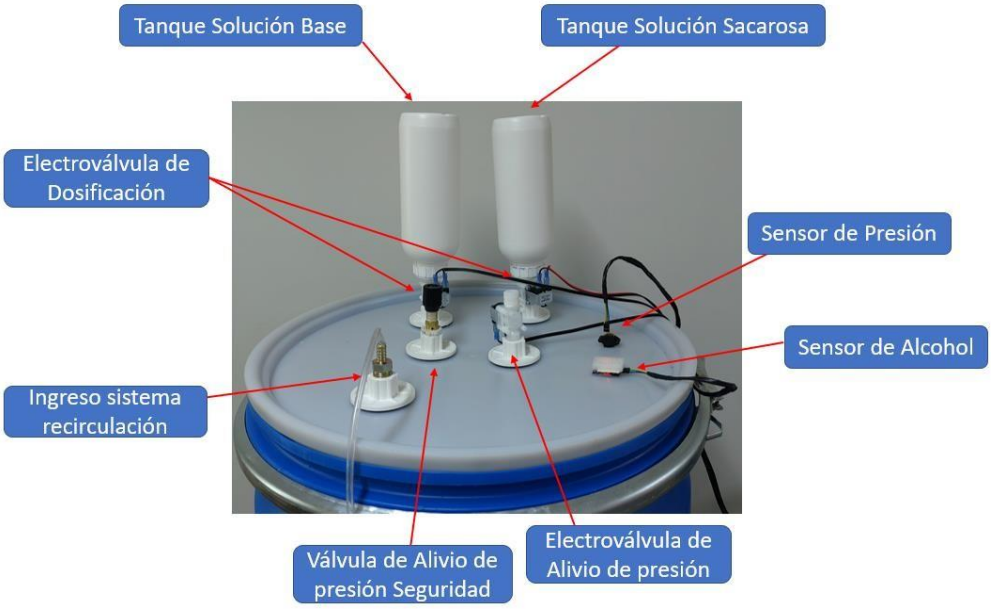
10.Anexos

10.1 Anexo 1: Montaje

Partes del Biorreactor vista frontal:



Partes del biorreactor vista superior:



Caja de control parte izquierda: Conexión tarjetas y leds indicadores.

Caja de control parte derecha: Conexión tarjetas y leds indicadores.

Caja de control parte externa: Leds indicadores.

10.2 Anexo 2: Explicaciones de Programación

Programación en Arduino:
Programación adquisición de datos en Arduino UNO de los sensores de PH (SEN0161), temperatura (DS18B20), presión (MPX5700DP), alcohol (MQ3) y parametrización del valor de los grados Brix.

Se incluyen librerías necesarias y se indica la velocidad de transmisión de datos para la comunicación serial.

```
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

#define SensorPin A1
unsigned long int avgValue;  //Store the average value of the
float b;
int buf[10],temp;

// Pin donde se conecta el bus 1-Wire
const int pinDatosDQ = 9;

// Instancia a las clases OneWire y DallasTemperature
OneWire oneWireObjeto(pinDatosDQ);
DallasTemperature sensorDS18B20(&oneWireObjeto);

void setup() {
    // Iniciamos la comunicación serie
    Serial.begin(9600);
    // Iniciamos el bus 1-Wire
    sensorDS18B20.begin();
}
```

Programación del loop con las fórmulas de cada uno de los datos de los sensores.

```
void loop() {
  //-------------------------------------------------------------
    int a;
    float v, p;

    a = analogRead(2);
    v =(a*5.0)/1024.0;

    v=v-0.18;

    p=v/(0.0012858*5.0);

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

    sensorDS18B20.requestTemperatures();
```

```
40      //-------------------------------------------------------
41
42      int lectura_MQ3 =0;
43      double voltajeMQ =0.0;
44      lectura_MQ3 = analogRead(0);
45      voltajeMQ = lectura_MQ3*(5.0/1023.0);
46      float Rs=1000*((5-voltajeMQ)/voltajeMQ);  //Calculamos Rs
47      double alcohol=0.4091*pow(Rs/5463, -1.497);
48
49
50      //-------------------------------------------------------
51
52
53
54      float brix=-0.6801*(alcohol)+14.195;
55
```

```
59
60      for(int i=0;i<10;i++)       //Get 10 sample value from the
61       {
62         buf[i]=analogRead(SensorPin);
63         delay(10);
64       }
65       for(int i=0;i<9;i++)        //sort the analog from small t
66       {
67         for(int j=i+1;j<10;j++)
68         {
69           if(buf[i]>buf[j])
70           {
71             temp=buf[i];
72             buf[i]=buf[j];
73             buf[j]=temp;
74           }
75         }
76       }
77       avgValue=0;
78       for(int i=2;i<8;i++)                      //take the avera
79         avgValue+=buf[i];
80       float phValue=(float)avgValue*5.0/1024/6; //convert the an
81       phValue=3.5*phValue;
82
```

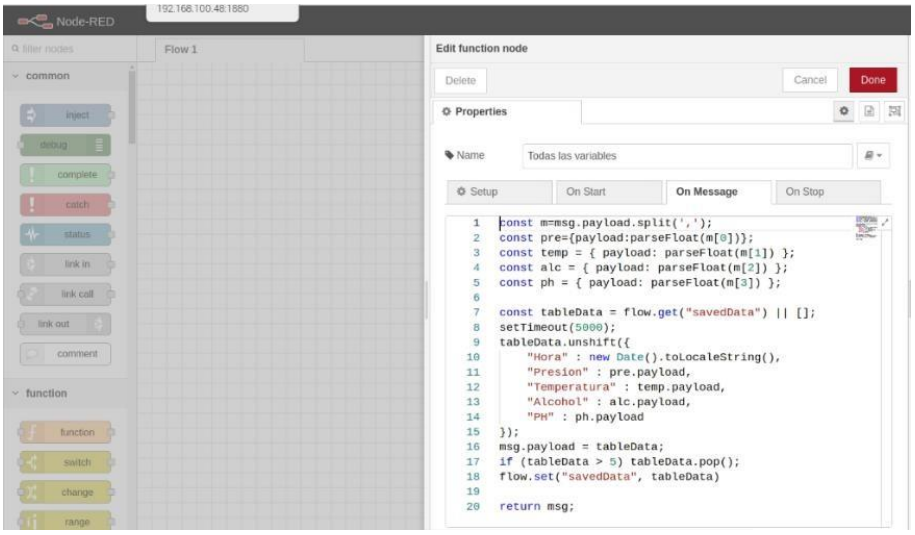
Impresión de datos separados por comas.

```
83
84      Serial.print(p);
85      Serial.print(",");
86      Serial.print(sensorDS18B20.getTempCByIndex(0));
87      Serial.print(",");
88      Serial.print(alcohol);
89      Serial.print(",");
90      Serial.print(phValue,2);
91      Serial.print(",");
92      Serial.println(brix,2);
93
94
95
96      delay(1000);
97
98  }
99
```

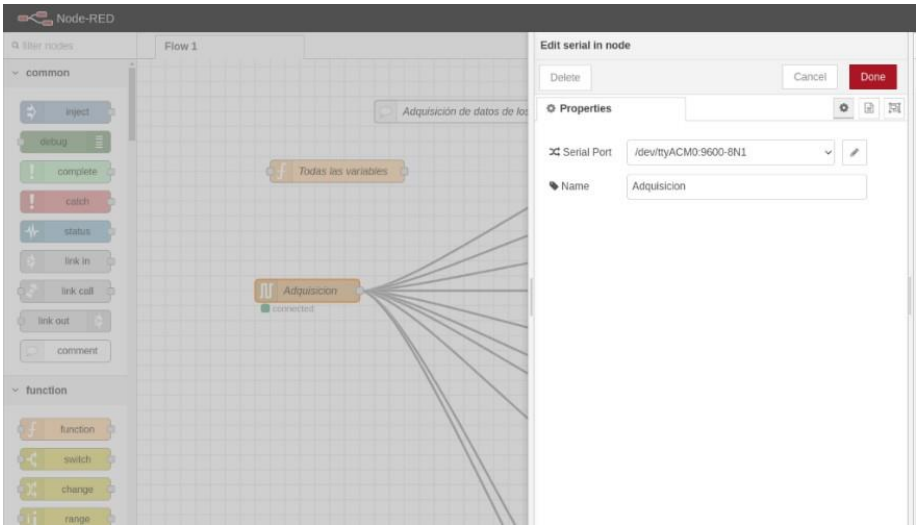
Programación en NodeRed

Programación recibimiento de datos, activación de actuadores y visualización de datos en la interfaz gráfica.

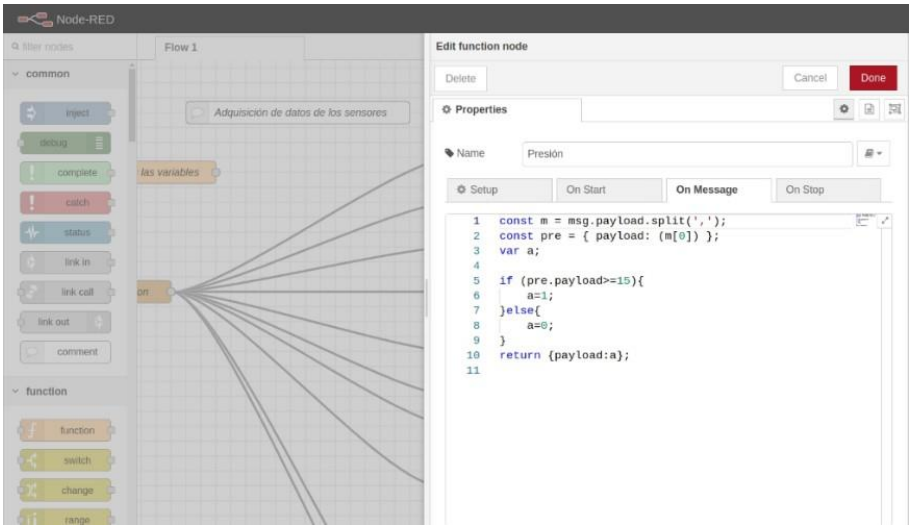
Recepción de datos de sensores y asignación de títulos.



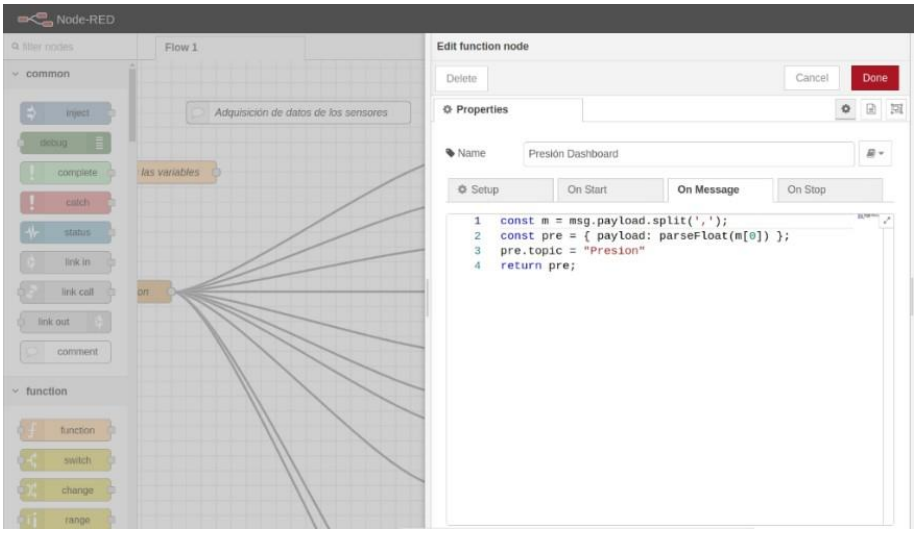
Nodo de comunicación serial.



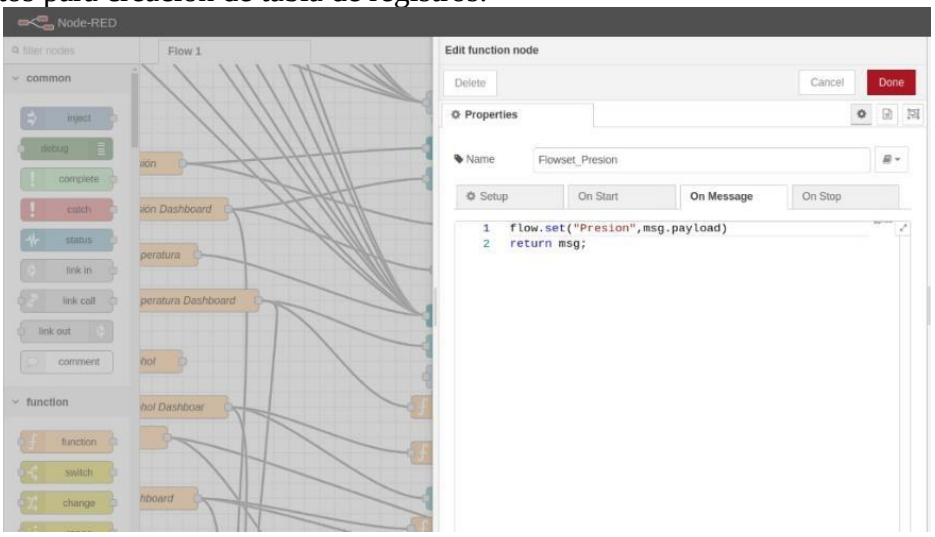
Asignación de límites para la activación de los actuadores.



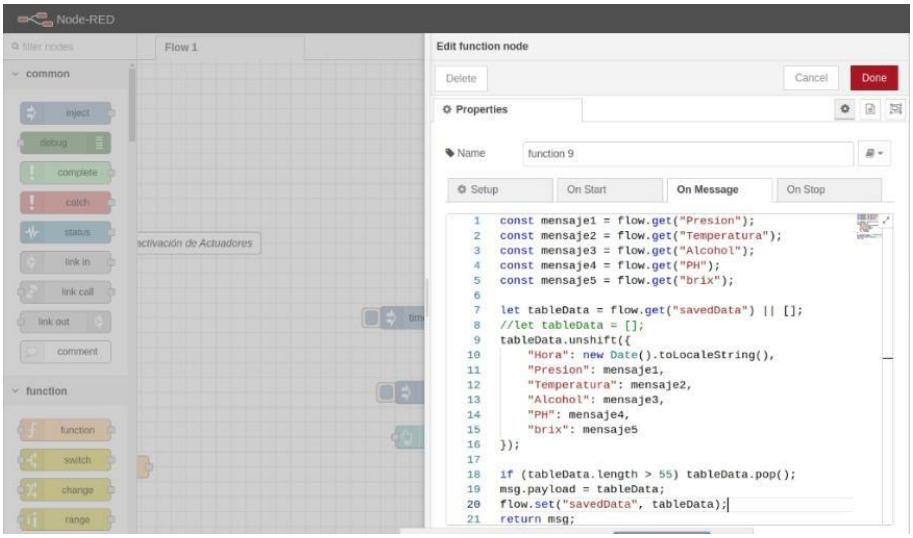
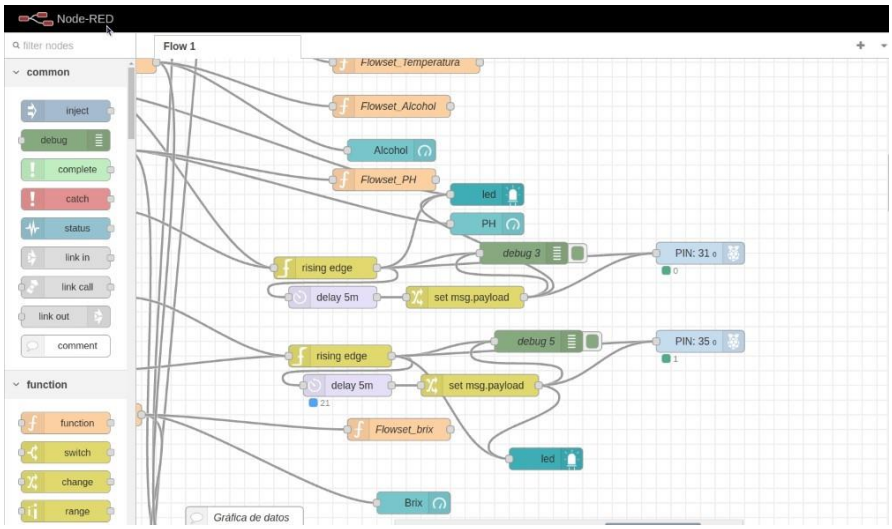
Se atribuyen los tópicos a cada una de las variables para la visualización en la curva del dashboard.



Envío de datos para creación de tabla de registros.



Recepción de datos y definición de columnas de la tabla de registro.



Nodos para activación de electroválvulas de dosificación por un tiempo determinado por medio de los puertos GPIO.