



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

***TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN DE LICENCIATURA DE INGENIERIA EN  
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL:***

**Desarrollo de un sistema para el monitoreo en tiempo real de las secadoras mecánicas  
de café de la Compañía Santa Rosa Limitada.**

**REALIZADO POR:**

Luis Eduardo Sánchez Madriz

**COORDINADOR DE PRÁCTICA:**

Ing. Ignacio Del Valle Granados

**II SEMESTRE 2021**



***Profesor guía***

Ing. Luis Gómez Gutiérrez

***Asesor industrial***

Lic. Marta Badilla Leiva

***Lectores y tribunal examinador***

Ing. Manuel Centeno

Ing. Juan Pablo Arias

Datos personales

*Nombre completo:* Luis Eduardo Sánchez Madriz

*Número de cédula:* 3-0492-0071

*Número de carné:* 2014049123

*Edad:* 26 años

*Números de teléfono:* 8658-7832

*Correos electrónicos:* luissanchez0796@gmail.com

luissanchez@estudiantec.cr

*Dirección exacta de domicilio:* 25m Oeste de la antigua bloquera de Santa Rosa, Turrialba.

Datos de la Empresa

*Nombre:* Compañía Santa Rosa Limitada

*Actividad Principal:* Beneficiado, producción y exportación de Café

*Dirección:* Santa Rosa Centro, De la iglesia 100 al Sur, Turrialba.

*Contacto:* Marta Badilla Leiva (contabilidadesr@valley.co.cr)

Departamento Administración Contable y Recurso Humanos.

*Teléfono:* 2556-1676. Extensión: 0

## **Dedicatoria**

A mis padres, Yuria y Luis, por todo el amor y apoyo incondicional a lo largo de toda mi vida y por todo el esfuerzo realizado para lograr que nunca me faltara nada. Siempre serán mi motivo de inspiración para esforzarme a lograr mis sueños.

A mis hermanas Celina y Sharon, por el amor y el apoyo.

A mi tío Mario, por ser mi segundo papá, por todo el amor y los consejos que hicieron parte de lo que soy hoy y porque, aunque ya no está con nosotros, le hubiera encantado verme finalizando esta etapa.

## **AGRADECIMIENTO**

A mis padres y mis hermanas, les agradezco todo que han hecho para hacerme estar aquí, por siempre estar en las buenas y en las malas, por apoyarme y amarme aun si le he fallado. Los amo.

A mis tíos que de una u otra manera han estado presentes a lo largo de mi vida, por su apoyo y amor, por todos los consejos que me han servido para llegar a donde estoy.

A mis primos que han sido como hermanos, les agradezco todo lo vivido hasta hoy y todas las enseñanzas que me han dejado.

A mis amigos y todos los momentos vividos que guardo con gran cariño.

Al Ing. Luis Gómez Gutiérrez, por su ayuda durante la realización de este proyecto.

Al personal de la Compañía Santa Rosa limitada, por toda su ayuda y disponibilidad durante el desarrollo de este proyecto.

## Contenido

Resumen .....	1
Abstract.....	2
1. Capítulo I. Introducción.....	3
1.1 Reseña de la Empresa.....	5
1.1.1. Organigrama .....	7
1.1.2. Descripción del proceso productivo .....	7
1.2. Planteamiento del problema.....	16
1.3. Objetivos.....	19
1.3.1. Objetivo General.....	19
1.3.2. Objetivos específicos.....	19
1.4. Justificación: .....	21
1.5. Viabilidad: .....	24
1.6. Metodología.....	24
1.7. Alcance: .....	27
1.8. Limitaciones: .....	27
1.9. Cronograma .....	28
2. Capítulo II. Marco teórico: .....	29
2.1. Beneficio de Café.....	29
2.2. Beneficiado húmedo de Café.....	29
2.3. Beneficiado seco de café.....	30
2.4. Proceso de secado .....	30
2.5. Temperatura de secado .....	31
2.6. Secadores mecánicos .....	31
2.7. Secador tipo Guardiola .....	32
2.8. Café oro.....	33
2.9. Análisis de modos de falla y efecto. ....	34
2.9.1. Modos de falla .....	35
2.9.2. Efectos de falla .....	36
2.9.3. Pasos y criterios para la elaboración de un AMFE.....	37
2.10. Pareto.....	40
2.11. Industria 4.0.....	43
2.12. IoT .....	44
2.13. Big data .....	48

2.14.	Mantenimiento Basado en Condición (MBC).....	48
2.15.	Arduino.....	48
2.16.	ESP8266.....	50
2.17.	Termopares.....	51
2.18.	Análisis de costo de ciclo de vida útil.....	53
3.	Capítulo III. Desarrollo de objetivos.....	57
3.1.	Determinación de la variable de mayor impacto del proceso.....	57
3.1.1.	Análisis de modos de falla y efectos. (AMFE).....	57
3.1.2.	Diagrama de Pareto.....	62
3.2.	Prototipo del equipo de monitoreo.....	65
3.2.1.	Recolección de datos.....	66
3.2.2.	Equipo para establecer la conexión inalámbrica.....	69
3.2.3.	Prototipo del equipo para monitoreo de temperaturas.....	72
3.3.	Prototipo de software propuesto.....	76
3.3.1.	Arduino.....	76
3.3.2.	Márgenes de operación.....	81
3.3.3.	Interfaz Web.....	82
3.4.	Análisis financiero.....	86
3.4.1.	Costos de operación.....	87
3.4.2.	Costos de Mantenimiento.....	90
3.4.3.	Costo del prototipo.....	91
3.4.4.	Análisis.....	93
4.	Conclusiones.....	95
5.	Recomendaciones.....	96
6.	Bibliografía.....	97
7.	Apéndices.....	104
8.	Anexos.....	116

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Termómetros analógicos actuales. ....	5
Figura 2. Organigrama de la empresa.....	7
Figura 3. Descripción del proceso. ....	7
Figura 4. Recibido de café.....	8
Figura 5. Despulpado y desmucilagenado del café. ....	9
Figura 6. Lavado de café. ....	9
Figura 7. Lavado de café. ....	10
Figura 8. Presecado de café. ....	10
Figura 9. Secado de café.....	11
Figura 10. Peladora de café. ....	12
Figura 11. Clasificadora de café. ....	13
Figura 12. Oliver. ....	14
Figura 13. Catadora ....	15
Figura 14. Cosedora.....	15
Figura 15. Almacenamiento. ....	16
Figura 16. Descripción del problema. ....	18
Figura 17. Proceso de Beneficiado de Café.....	29
Figura 18. Proceso de Beneficiado seco de Café.....	30
Figura 19. Temperatura de secado.....	31
Figura 20. Secadores mecánicos de café. ....	32
Figura 21. Secador tipo Guardiola.....	33
Figura 22. Café oro. ....	33
Figura 23. Diagrama de funcionamiento de AMFE. ....	35
Figura 24. Criterios de decisión respecto al NPR.....	40
Figura 25. Arduino UNO.....	49
Figura 26. Pines de conexión del ESP8266.....	50
Figura 27. Termopar. ....	51
Figura 28. Formulación de costo de ciclo de vida.....	54
Figura 29. Costos de operación y mantenimiento. ....	56
Figura 30. Medidor de humedad de granos portátil. ....	61
Figura 31. Gráfico del diagrama de Pareto del sistema de secado de café.....	64
Figura 32. Termocupla tipo K. ....	66
Figura 33. Posicionamiento de termocuplas en las guardiolas. ....	68

Figura 34. Modulo MAX6675.....	68
Figura 35. Módulo FONa 808. ....	70
Figura 36. Módulo ESP8266. ....	71
Figura 37. Alimentador de corriente directa de 3.3V.....	72
Figura 38: Prototipo para medición de temperaturas.....	73
Figura 39. Lecturas de los cuatro termopares.....	74
Figura 40.Diagrama de conexión del prototipo final de monitoreo de temperaturas. ....	75
Figura 41. Definición de constantes en Arduino IDE. ....	77
Figura 42. Configuración del ESP8266 en Arduino IDE. ....	78
Figura 43. Configuración del “void setup” en Arduino IDE.....	78
Figura 44. Configuración del “void loop” en Arduino IDE. ....	80
Figura 45. Programación de la alarma.....	82
Figura 46. Interfaz de visualización de datos en tiempo real. ....	83
Figura 47. Interfaz en Thingspeak.....	84
Figura 48. Datos exportados a Excel.....	85

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Metodología del proyecto.....	26
Tabla 2. Cronograma por seguir. ....	28
Tabla 3. Severidad.....	38
Tabla 4. Frecuencia de ocurrencia del modo de fallo.....	39
Tabla 5. Facilidad de detección de la causa de falla.....	39
Tabla 6. Tipos de termopares. ....	53
Tabla 7. AMFE del subproceso de suministro de aire caliente. ....	59
Tabla 8. Pareto del sistema de secado. ....	63
Tabla 9. Costos de operación anuales.....	89
Tabla 10. Costos de operación anuales con prototipo. ....	89
Tabla 11. Costos de Mantenimiento. ....	90
Tabla 12. Costo del prototipo. ....	92
Tabla 13. Valor de desecho del prototipo en un periodo de 3 años.....	93
Tabla 14. Flujo de costos de efectivo para el sistema de secado sin implementación del prototipo. ....	94
Tabla 15. Flujo de costos de efectivo para el sistema de secado con implementación del prototipo. ....	94

## Resumen

El presente proyecto consiste en el desarrollo de un prototipo para el monitoreo y alerta de la variable más crítica del sistema de secado mecánico de café en el Beneficio de la Compañía Santa Rosa Limitada, ubicada en Santa Rosa, Turrialba.

Para determinar la variable más crítica del sistema se realizó un análisis de modos de fallas y efectos. Para esto se dividió el proceso de secado en tres subprocesos, el transporte de café desde el presecado hasta las secadoras, el sistema de rotación de las guardiolas y el suministro de aire caliente. Para cada uno de los subprocesos se determinó la severidad, la ocurrencia y el grado de detección, esto para determinar la falla más perjudicial respecto al número de prioridad de riesgo. De un modo similar se realizó un análisis utilizando el Diagrama de Pareto, obteniendo que el sistema y equipo de control de temperaturas usado produce el mayor impacto, justificando de esta manera el desarrollo del proyecto.

El sistema de monitoreo propuesto serán equipos y módulos de bajo costo, debido a que son prototipos para una primera implementación del sistema. Para después de realizar el análisis económico antes y después de la implementación del prototipo, se pueda implementar un sistema con equipo más preciso para aplicaciones industriales. Para este prototipo se utilizaron termopares de bajo costo, los cuales envían las señales a un Arduino uno, el cual las convierte en las unidades de temperatura (°C) y luego son enviadas vía internet por un módulo WIFI para su visualización por medio de una pantalla LCD o algún equipo con conexión a internet.

**Palabras clave:** Internet de las cosas, Arduino, Secadoras de café, temperatura, modos de falla.

## **Abstract**

The present project consists of the development of a prototype for the monitoring and warning of the most critical variable of the mechanical coffee drying system in the Beneficio of the Santa Rosa Limited Company, located in Santa Rosa, Turrialba.

To determine the most critical variable of the system, we made an analysis of failure modes and effects. For this purpose, the drying process was divided in three sub-processes, the transport of coffee from the pre-drying to the dryers, the rotation system of the Guardiolas and the hot air supply. For each of the sub-processes the severity, the occurrence and the degree of detection were determined to determine the most significant failure with reference to the risk priority number. In a similar way, an analysis was made using the Pareto Diagram. For this, we took the failures that produce the most costs and calculated the costs incurred annually because of these, obtaining that the temperature control system and equipment used produces the biggest impact, justifying this way the development of the project.

The proposed monitoring system will be a low-cost equipment and modules because they are prototypes for a first implementation of the system. After we make the economic analysis before and after the implementation of the prototype, we will be able to implement a system with more precise equipment for industrial applications. For this prototype low-cost thermocouples were used, which send signals to an Arduino one, which converts them into temperature units (°C) and then are sent via the Internet by a WIFI module for display it through an LCD screen or any device with Internet connection.

Keywords: Internet of things, Arduino, coffee dryers, temperature, failure modes.

## **1. Capítulo I. Introducción**

Hoy en día la implementación de sistemas que utilizan el concepto de industria 4.0 como base para su desarrollo en los procesos industriales es de gran importancia, esto debido a los distintos beneficios que esta conceptualización produce a las empresas en las cuales se aplica. Sin embargo, algunos sectores de la industria se ven un poco rezagados en la aplicación de estas tecnologías, esto debido a la falta de información y conocimiento técnico. Un ejemplo de estos sectores son los Beneficios de la industria cafetalera, donde algunas de estas empresas o microempresa son de gran antigüedad, por lo que aun cuentan con tecnologías obsoletas y desconocen de las oportunidades de desarrollo que estas pueden ofrecerles.

Actualmente en la industria cafetalera nacional se ha venido dando una difícil situación, donde la producción de este grano se ha disminuido considerablemente debido a las enfermedades que atacan estos cultivos y al cambio climático que se está generando. Por lo tanto, al haber menos cosecha y la misma cantidad de Beneficios e inclusive el incremento de estos, producen que algunas pequeñas empresas se vean afectadas. Estos factores, sumados a la inexistencia de tecnología en sus sistemas, producen que estas tengan grandes pérdidas económicas y lleven a algunas de estas al cese de operaciones. Es por lo que en este proyecto se plantea la implementación de un sistema de la industria 4.0 para evitar generar una pérdida de competitividad de la empresa Compañía Santa Rosa Limitada dentro de la industria cafetalera.

La importancia de implementar un sistema de monitoreo de temperaturas, dentro del marco de la industria 4.0, radica en que no solamente se busca un sistema que nos mida las temperaturas del proceso, si no, que se pretende tener un sistema el cual nos mida las temperaturas, pero a su vez, nos permita el almacenamiento de esta gran cantidad de datos

(big data) para poder realizar distintos análisis, ya sea para observar la situación del proceso de secado por parte del área administrativa y tomar medidas para optimizar los procesos o hasta demostrarle a los clientes que el proceso de secado se ha realizado de manera óptima.

Para solucionar este problema se pretende realizar un análisis de la situación actual que tiene la empresa en el proceso de secado de café, en este se analizará la forma en que se maneja el sistema y los costos que este proceso genera. Una vez realizado este análisis, se utilizará para respaldar la necesidad de elaborar una propuesta e implementar un sistema inteligente de monitoreo de temperaturas en los secadores mecánicos de café, con el fin de evitar que el proceso de secado se vea afectado de manera negativa, ya que al tener un ineficiente sistema de monitoreo de la temperaturas esto genera afectaciones al disminuir la calidad del café considerablemente y por otro lado produce un desgaste innecesario de los equipos utilizados en este proceso al tenerlos trabajando por más horas de las que realmente serían necesarias. Estas son afectaciones que llegan a producir una pérdida en la confiabilidad en los clientes, lo que a su vez genera pérdidas de contratos de venta del producto.

Se toma la idea de realizar un sistema de monitoreo debido a que esta sería la opción más viable y confiable para la medición de temperaturas en los ductos de ventilación de las Guardiolas, debido a que los termómetros convencionales que se instalan directamente a los ductos de aire se ven afectados por el aire caliente “contaminado” que transportan a estos y el polvo presente en el recinto, disminuyendo de esta manera la confiabilidad en las mediciones. A su vez debido a las condiciones en las que se trabaja en el área de secado y en donde se deben de colocar los termómetros, los relojes de estos llegan a sufrir golpes u otros defectos que llegan a afectar la lectura de las temperaturas, como se muestra en la figura 1. Es debido

a esta situación que el modo de monitoreo actual puede producir la pérdida de la calidad o la pérdida total del producto y generarle a la empresa pérdidas millonarias.



**Figura 1. Termómetros analógicos actuales.**

**Fuente: Beneficio de café Santa Rosa, 2022.**

Con este proyecto lo que se pretende en Compañía Santa Rosa Limitada es generar un aumento en la confiabilidad de la empresa, que debido a las situaciones mencionadas anteriormente se ha visto afectada de manera importante en años anteriores. De igual manera se pretende garantizar que el café que se produce en dicho lugar sea de la calidad esperada por los clientes del Beneficio.

### **1.1 Reseña de la Empresa**

Compañía Santa Rosa Limitada, también llamada Beneficio de Santa Rosa, es una empresa ubicada en Santa Rosa de Turrialba, dedicada desde 1931 a recibir el café de aproximadamente 1400 agricultores de la zona de Turrialba y sus cercanías y llevar a cabo el proceso de beneficiado de café para obtener café oro.

Este Beneficio tiene la capacidad de recibir hasta 40.000 fanegas de café en cereza, lo que equivalen a 10.320.000 kilogramos de café recién cosechado. Una vez recibido el café, esta empresa se encarga de limpiarlo, procesarlo, separarlo por calidades y empaquetarlo para su posterior venta para el proceso de tueste y molido.

La empresa busca mejorar las condiciones sociales y economías de sus asociados y la población en general que se beneficia de esta industria en la zona. Para esto desarrolla procesos de producción, cosecha, industrialización y mercadeo de café, tanto para el mercado interno como para el mercado externo.

Al ser un beneficio pequeño no se cuenta con mucho personal, por lo que la empresa cuenta con 3 pequeños departamentos: administrativo, beneficiado y suministro. En la parte administrativa se cuenta con 3 personas, que son los encargados de llevar toda la parte administrativa, financiera y recursos humanos. El departamento de suministros cuenta con 2 personas que se encargan tanto de suministrar el café a la planta, como de los suministros necesarios para su operación. El departamento de beneficiado, que es el departamento donde se realizara el proyecto, cuenta con un aproximado de 12 personas, tomando en cuenta al administrador de la planta, esta cantidad puede variar dependiendo de la cantidad de café que se reciba en cada cosecha.

Como se mencionó anteriormente, el beneficio tiene una capacidad para procesar aproximadamente 40.000 fanegas de café. Por lo tanto, para lograr esta capacidad se cuentan con 11 secadoras de Café tipo Guardiolas con una capacidad de secar 60 quintales cada una. La producción de calor para las 11 secadoras se produce con 2 hornos que se alimentan con leña y cáscara de café.

### 1.1.1. Organigrama

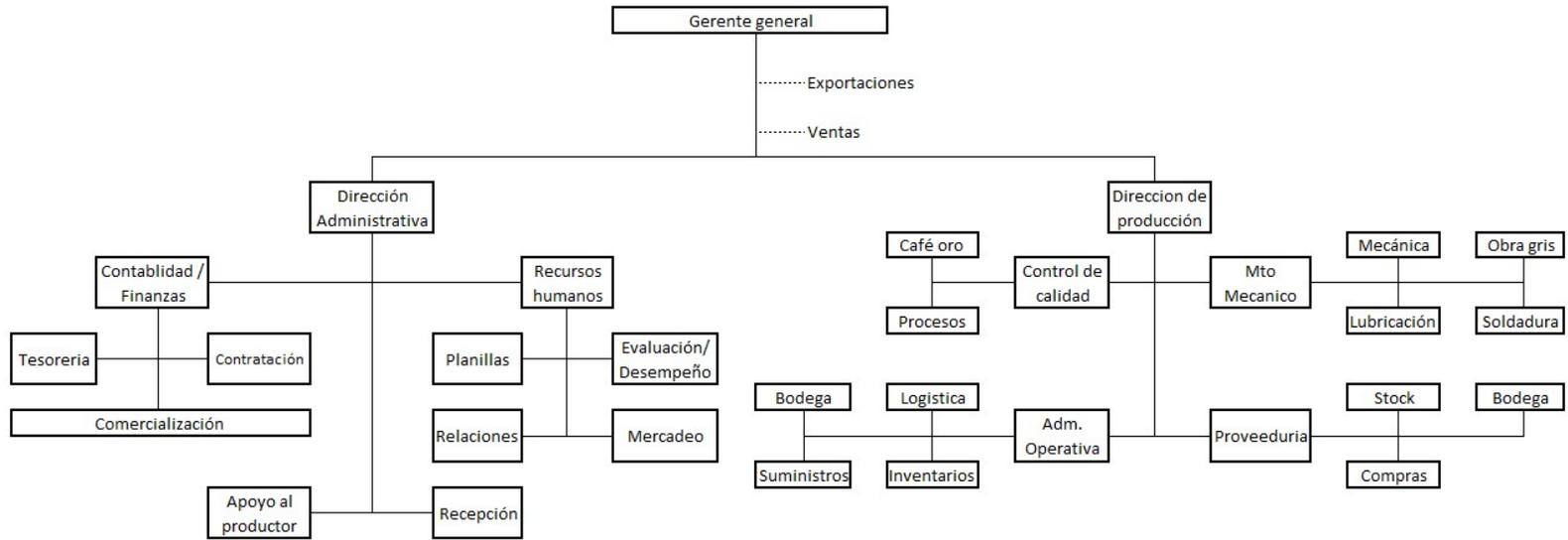


Figura 2. Organigrama de la empresa.

Fuente: Elaboración propia

### 1.1.2. Descripción del proceso productivo



Figura 3. Descripción del proceso.

Fuente: Elaboración propia

- 1- Recibido de café: En esta parte se recibe el café propio de la finca o de los clientes externos y se mide, generalmente es fanegas o cajuelas. En este momento también se hace una prueba de flotabilidad a una muestra para determinar cuánto se debe de castigar la cosecha debido a la broca de café o por café seco.



**Figura 4. Recibido de café.**

**Fuente: Beneficio de café Santa Rosa, 2022.**

- 2- Despulpado y desmucilagenado del café: En esta sección del proceso, se separa la semilla de la cascara por medio de equipo conocido como “chancadoras”. En este proceso se realiza una primera separación de calidades de café, entre café de primera, café de segunda y café verde.



**Figura 5. Despulpado y desmucilagenado del café.**

**Fuente: Beneficio de café Santa Rosa, 2022.**

- 3- Lavado y presecado del café: En este proceso se procede a limpiar las mieles que quedan impregnadas al grano luego del proceso de desmucilagenado, también se terminan de separar los restos de pulpa que no se eliminaron en el proceso anterior. Esto para que al proceso de presecado lleguen los granos de café lo más limpios posible.



**Figura 6. Lavado de café.**

**Fuente: Beneficio de café Santa Rosa, 2022.**



**Figura 7. Lavado de café.**

**Fuente: Beneficio de café Santa Rosa, 2022.**



**Figura 8. Presecado de café.**

**Fuente: Beneficio de café Santa Rosa, 2022.**

- 4- Secado del café: En esta etapa el café se pasa por las guardiolas a una temperatura optima de 60°C hasta llevar al grano a una humedad de 10,5%.



**Figura 9. Secado de café.**

**Fuente: Beneficio de café Santa Rosa, 2022.**

- 5- Descascarillado del café: En esta sección de la planta se hace pasar a los granos de café por la peladora para terminar de separar el grano de café de la cascarilla secundaria con la que se seca, esta cáscara secundaria suele llamarse pergamino.



**Figura 10. Peladora de café.**

**Fuente: Beneficio de café Santa Rosa, 2022.**

- 6- Separación por calidades de los granos de café: Este equipo se encarga de separar el café seco por calidades en primera calidad, segunda calidad y café verde. Este equipo se utiliza debido a que, aunque se reciba café cereza de primera calidad, pudo haber llevado un proceso incorrecto de secado, lo que produce que este disminuya en cuestión de calidad a una calidad al nivel del café de segunda o hasta café verde.



**Figura 11. Clasificadora de café.**

**Fuente: Beneficio de café Santa Rosa, 2022.**

7- Clasificación por densidad. Una vez clasificado el grano de café, este se hace pasar por unos equipos llamados Oliver, estos se encargan de realizar una tercera clasificación de los granos de café. Estos se clasifican según el tamaño de los granos y se vuelven a clasificar en tres calidades, que serían el café de primera, el café de segunda y las cataduras.



**Figura 12. Oliver.**

**Fuente: Beneficio de café Santa Rosa, 2022.**

- 8- Empaquetado y almacenamiento del café: Es el último proceso del beneficiado de café, en donde se empaqueta el café en sacos de 68 Kg, se hace pasar por la banda de coser, para cerrar los sacos y se almacena para su posterior venta.



**Figura 13. Catadora.**

**Fuente: Beneficio de café Santa Rosa, 2022.**



**Figura 14. Cosedora.**

**Fuente: Beneficio de café Santa Rosa, 2022.**



**Figura 15. Almacenamiento.**

**Fuente: Beneficio de café Santa Rosa, 2022.**

## **1.2. Planteamiento del problema**

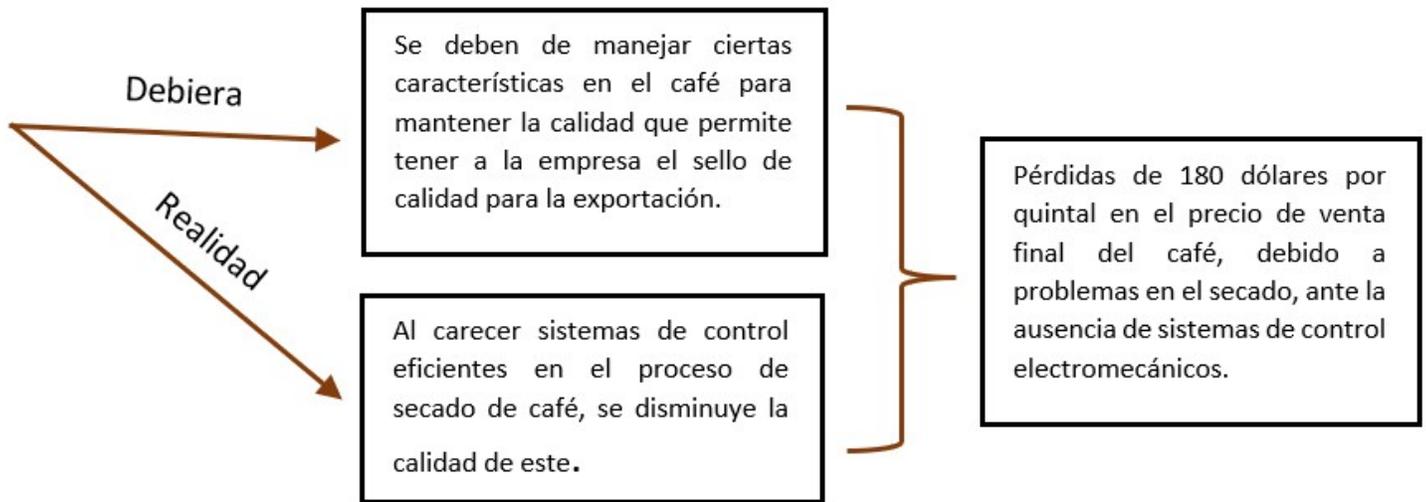
En el beneficiado de café, uno de los sistemas más importantes del proceso es la sección de secado mecánico de café, debido a que en este proceso es de donde se obtiene el café oro, que es la calidad deseada. Para esto el café se debe de secar a una temperatura constante de  $60^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas continuas, para poder obtener en el producto un secado consistente con una humedad de 10,5% para su posterior almacenamiento. Actualmente en el proceso la temperatura varia de manera considerable con temperaturas que oscilan entre  $75^{\circ}\text{C}$  y  $40^{\circ}\text{C}$  debido a la forma en que se maneja el control de las temperaturas, lo que produce un aumento de hasta 10 horas en la cantidad de horas necesarias para el secado al no mantener una temperatura constante durante todo el proceso. Este es un aumento significativo, respecto a lo

recomendado por el Icafé, en donde se recomienda una duración máxima de 25 horas, con el fin de mantener la calidad del producto.

Con este mal manejo del sistema se llegan a tener grandes pérdidas económicas por factores como la pérdida de calidad del producto final y las horas extra que deben de trabajar los equipos y el personal. Estas pérdidas pueden ascender hasta los dos millones quinientos mil colones para una sola Guardiola que haya tenido un incorrecto proceso de secado debido al manejo incorrecto de las temperaturas del proceso. Este es un valor bastante alto, tomando en cuenta que solo se está mencionando la pérdida del producto de una guardiola y que también se producen sanciones por pequeñas alteraciones en la calidad del producto.

Sin embargo, aunque es de los procesos más importantes, este proceso productivo no cuenta con la implementación de algún sistema tecnológico para el control de las variables antes mencionadas que permita asegurar el funcionamiento óptimo del sistema, esta inexistencia de sistemas tecnológicos en la empresa se debe principalmente al costo que genera la implementación, mantenimiento y control de los sistemas de automatización de procesos.

Así que desde el punto de vista financiero y ambiental se tiene la necesidad de corregir esta situación y de esta manera evitar las pérdidas económicas debido a pérdida de producto y a su vez disminuir la cantidad de energía eléctrica que se consume, ya que, anualmente se manejan pérdidas de hasta aproximadamente 10 millones de colones relacionados al ineficiente control de las temperaturas con las que se lleva a cabo el proceso de secado de café y las consecuencias que este control generan. Se debe de tomar en cuenta que estas pérdidas son solamente relacionadas al proceso de secado de café, por lo tanto, se puede deducir que son bastante altas, debido a que para las pérdidas en la empresa habría que sumarle las pérdidas que se producen a lo largo del todo el proceso de Beneficiado de café.



**Figura 16. Descripción del problema.**

**Fuente: Elaboración propia**

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo General**

Desarrollar un sistema de control que mida las variables críticas del proceso que influyen en la calidad del secado de café, a través de un sistema de monitoreo en tiempo real que permita la detección inmediata de la variación de algún parámetro que afecte la calidad, siguiendo los conceptos del IoT en la Compañía Santa Rosa Limitada.

#### **1.3.2. Objetivos específicos.**

**Objetivo específico #1:** Determinar los componentes electromecánicos del sistema de secado de café a través del análisis de modos de fallas y efectos (AMFE) para la obtención de los parámetros de funcionamiento, partiendo de un diagrama de Pareto para la visualización de la variable de mayor impacto en el proceso.

**Indicador de logro:** Análisis de modos de fallas, efectos y criticidad (AMFE) y análisis de Pareto.

**Objetivo específico #2:** Desarrollar un prototipo del equipo de monitoreo para un mantenimiento basado en condición (MBC) bajo lineamientos de la norma ISO/IEC 30141 sobre Internet de las Cosas, de forma que valide el sistema de monitoreo propuesto.

**Indicador de logro:** Desarrollo del prototipo de monitoreo bajo lineamientos de la norma ISO/IEC 30141

**Objetivo específico #3:** Desarrollar un prototipo de software para el programa de monitoreo en tiempo real de los secadores de café, que permita la verificación y análisis del comportamiento operacional del sistema.

**Indicador de logro:** Software operando en tiempo real.

**Objetivo específico #4:** Determinar la viabilidad técnico-financiera del sistema electromecánico de control, y su impacto en la rentabilidad del negocio mediante análisis de ciclo de vida útil (ACCV)

**Indicador de logro:** Análisis financiero.

#### **1.4. Justificación:**

Para el Beneficio de Santa Rosa, el proceso de beneficiado de café culmina de manera óptima una vez que se obtienen los granos de café sin pergamino, con un secado consistente y una humedad del 10,5% para poder obtener café de primera calidad, para lograr obtener estos resultados se necesita de un manejo y un control de temperaturas constantes durante todo el periodo de secado. De aquí nace la necesidad de implementar un sistema tecnológico en este proceso que permita mantener las temperaturas y el tiempo de secado constantes, ya que de este proceso y del tipo de café que se procese va a depender la calidad del producto final. [15]

Debido a la situación actual que atraviesa el país con la industria cafetalera, muchos beneficios se han visto afectados de gran manera. La disminución de productores de café, las bajas cosechas que se han producido desde hace unos años y los bajos precios en la venta del producto, son factores que afectan a todos los Beneficios a nivel nacional. Según (Icafé, 2021) se ha tenido una disminución de 23,238 productores de café entre los años 2011 y 2021, lo que significa una disminución de casi el 50% de productores nacionales. A su vez, se ha manejado un aumento de 132 Beneficios cafetaleros en operación durante estos años, lo que produce que una menor cantidad de café tenga que ser recibido por más Beneficios, esto a su vez se traduce en que estos Beneficios deban de pagar el café más caro para poder mantener a los clientes. Otro punto de las afectaciones en los Beneficios, como se mencionó anteriormente ha sido que en los años anteriores se ha tenido una disminución considerable en las cosechas del café cereza, esto debido a factores como el clima o la broca del café, lo cual para la cosecha 2021/2022 significó una disminución de casi el 7% respecto a años anteriores, que se traduce en 1 769 152 fanegas de café en cereza, afectando de esta manera seriamente a las empresas a nivel nacional.

Por otro lado, tener equipos antiguos sin la implementación de tecnología, muchas veces producen la pérdida de calidad del producto final, lo que ocasionaría una disminución en su precio de venta o hasta la pérdida de clientes, al estos perder confiabilidad en la empresa. [4]. La suma de estos factores podría llegar a producir el cierre del Beneficio, lo que generaría que muchas familias que dependen de este negocio tanto directa como indirectamente se queden sin fuente de ingresos.

Desde el punto de vista social, en un lugar como la zona Turrialba, donde aproximadamente el 25% de la población se encuentra en pobreza [12] y en un proceso productivo para la zona, como lo es el café, la implementación de sistemas que aseguren el buen funcionamiento de la planta, como lo sería un sistema de monitoreo que asegure el proceso de secado y logre evitar la pérdida de ingresos, ayudan a que la planta pueda seguir trabajando de manera continua, lo que produce muchas fuentes de empleo tanto directa como indirectamente.

Desde el año 2018 el Icafé ha implementado un sistema de incentivos para los Beneficios de café que inviertan en tecnología en sus procesos [2], ya que esta implementación generaría distintos beneficios que se mencionarán más adelante, tanto en la parte económica como en la parte ambiental.

La solución que se plantea en este proyecto para determinado problema es la más viable. Ya que de otra manera se debería de optar por la instalación de equipos de secado más modernos, los cuales significarían una inversión bastante grande. Se podría optar por la aplicación de otro método para el secado del café, como lo es el secado al sol, pero este ocasionaría un atraso en la producción, ya que se pasaría de durar entre 25 a 30 horas con las secadoras tipo guardiola a durar de 7 a 15 días [5]. Como última opción se podría optar por la contratación de más personal para el proceso de secado, sin embargo, se tiene que iniciar por

instruir durante algún tiempo al nuevo o nuevos operarios, pagar los salarios correspondientes y tener en cuenta todas las afecciones que puede ocasionar el factor humano. Es por lo que el proyecto planteado es la solución más sencilla, económica y eficiente por la que se puede optar.

Actualmente el proceso de secado tiene una duración de hasta 35 horas, esto debido a que las temperaturas en las secadoras varían desde los 35°C hasta los 70°C. Estas alteraciones en las variables del proceso producen una disminución en la calidad del producto, lo que ocasiona que se castigue el precio de venta del café verde. Es por lo que con este proyecto se pretende implementar un sistema de monitoreo que permita mantener temperaturas muy cercanas a los 60°C durante el secado y de esta manera disminuir las horas de secado a las 24 horas que se recomienda tanto nacional como internacionalmente [15].

Con respecto al impacto ambiental que tendría la implementación de este proyecto, este se vería reflejado al producir una considerable disminución en el consumo de energía eléctrica de hasta 290 000 KW anuales, ya que el proceso cuenta con 11 secadoras tipo Guardiola, cada una de estas utiliza 2 motores eléctricos, uno de 5 HP utilizado para la rotación de la guardiola y otro de 10 HP utilizado en el abanico que suministra el arte caliente al sistema, lo que produce un consumo de aproximadamente 12 KW por secadora. Por lo tanto, al disminuir el tiempo de secado de entre 30 a 35 horas que se maneja actualmente a 24 horas que es lo que menciona la teoría, se reduciría el consumo eléctrico [15].

Debido a que el sistema que se plantea emplear es un sistema perteneciente al concepto del Internet de las cosas, se utilizará como una referencia la norma ISO/IEC

30141 sobre Internet de las Cosas (IoT) – Arquitectura de Referencia, para mantener un marco común de desarrollo y diseño [19].

### **1.5. Viabilidad:**

Para la realización de este proyecto se cuenta con toda la disponibilidad de la empresa de poder utilizar las máquinas y equipos que estén disponibles y sean necesarios, así como al personal que opera y conoce de manera completa el funcionamiento de estos mismos.

Desde el punto de vista económico, la empresa acepta correr con todos los gastos económicos que se pueden generar durante el desarrollo de este proyecto.

Para esto se pretende desarrollar un solo prototipo que va a funcionar para los 4 equipos que se plantea monitorear, se hace de este modo debido a que la empresa cuenta con 3 hornos, de los cuales dos de ellos son más grandes y trabajan con 4 secadoras de café y uno de ellos trabaja con 2 secadoras, por lo que se tomará como objeto de estudio solo uno de los hornos grandes.

Por último, se cuenta con la posibilidad de pedir a la empresa cualquier información necesaria sobre los procesos que se llevan a cabo en esta, así como con la suficiente bibliografía para poder respaldar lo que se desarrollará.

### **1.6. Metodología**

El proyecto se llevó a cabo de la siguiente manera

- **Recopilación de información:** Se realizaron varias visitas a la planta, con el fin de analizar el proceso y los equipos que se utilizan en este. Se recauda toda la información tanto técnica como económica del proceso.

- Determinación de modos de falla y efectos: Con la información recaudada anteriormente y fundamento teórico basado en manuales de operación y otras fuentes bibliográficas se procede a realizar el análisis AMFE con el fin de determinar y evidenciar la problemática presente en el proceso.
- Determinar las variables de mayor importancia para un sistema de monitoreo: A partir del análisis AMFE realizado y de la exhaustiva recopilación de información realizada anteriormente sobre el desarrollo del proceso se determina cual es la variable que nos permitiría obtener beneficios económicos al realizar un sistema de monitoreo sobre esta.
- Planteo de un prototipo de MBC: Con la variable a medir seleccionada, se procede a investigar y determinar los componentes, normas y la estructura necesaria para realizar un prototipo de un sistema de Mantenimiento Basado en Condición bajo el fundamento del Internet de las Cosas para desarrollar un sistema de monitoreo en tiempo real.
- Desarrollo de un prototipo de software: Con el fin de lograr un sistema que nos permita el monitoreo de la variable antes mencionada y a su vez nos permita generar una alarma que se guíe por parámetros establecidos y el almacenamiento de los datos para posteriores análisis, se realiza un prototipo de software que se pueda adaptar fácilmente al equipo escogido anteriormente.
- Comprobación de funcionamiento análisis económico: Una vez desarrollados los prototipos de hardware y software, se ponen a funcionar en el sistema para comprobar su correcto funcionamiento y a su vez se realiza un análisis con el fin de determinar el beneficio económico resultante de la implementación de estos sistemas tecnológicos.

**Tabla 1. Metodología del proyecto.**

<b>Objetivo específico planteado</b>	<b>Actividad por realizar</b>	<b>Fuente de información</b>	<b>Forma de recolección</b>	<b>Resultados esperados (Entregables)</b>
Determinar los componentes electromecánicos del sistema de secado de café a través del análisis de modos de fallas y efectos (AMFE) para la obtención de los parámetros de funcionamiento, partiendo de un diagrama de Pareto para la visualización de la variable de mayor impacto en el proceso.	Analizar el sistema en estudio para comprender el funcionamiento técnico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Personal de operación y mantenimiento.</li> <li>• Fuentes bibliográficas.</li> <li>• Historial de funcionamiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entrevista presencial</li> <li>• Mediciones presenciales</li> <li>• Investigación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• AMFE del sistema de secado.</li> <li>• Diagrama de Pareto de las variables críticas</li> </ul>
	Realizar las mediciones necesarias para determinar los parámetros de funcionamiento actual.			
	Establecer las variables críticas del sistema.			
Desarrollar un prototipo de mantenimiento basado en condición (MBC) bajo lineamientos de la norma ISO/IEC 30141 sobre Internet de las Cosas, de forma que valide el sistema de monitoreo propuesto.	Estudiar los sistemas de MBC bajo el IoT.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fuentes Bibliográficas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Investigación</li> <li>• Entrevista presencial</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prototipo Funcional</li> <li>• Representación gráfica del sistema de monitoreo.</li> </ul>
	Desarrollo un prototipo de monitoreo en tiempo real.			
Desarrollar un software para el programa de monitoreo en tiempo real de los secadores de café, que permita la verificación y análisis del comportamiento operacional del sistema.	Determinar el programa más apto para desarrollar el software	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fuentes Bibliográficas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Investigación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Software funcional.</li> <li>• Código programado</li> <li>• Sistema de almacenamiento de datos</li> </ul>
	Elaborar un software funcional para utilizarlo en el MBC.			
	Desarrollo de sistema de almacenamiento de datos.			
Determinar la viabilidad técnico-financiera del sistema electromecánico de control, y su impacto en la rentabilidad del negocio mediante análisis de ciclo de vida útil (ACCV)	Determinar los costos de operación con el sistema inicial	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fuentes Bibliográficas.</li> <li>• Cálculos propios</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fabricantes</li> <li>• Investigación</li> <li>• Toma de datos del sistema de monitoreo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ACCV</li> </ul>
	Análisis técnico-financiero del sistema desarrollado mediante un análisis de ciclo de vida útil.			

### **1.7. Alcance:**

Con este proyecto se pretende desarrollar un sistema de monitoreo inteligente, el cual se utilizará actualmente solo como un medio de monitoreo de las temperaturas y como herramienta para generar una alerta al personal cuando estas se encuentren fuera del margen establecido. Esto se realiza con el fin de generar un impacto en este y otros sectores industriales que aún no cuentan con tecnologías en sus procesos, y que de esta manera se pueda demostrar y fomentar que el uso de tecnologías de la industria 4.0 en las pequeñas y medianas empresas puede generarles desarrollo y crecimiento económico.

### **1.8. Limitaciones:**

Dentro de la empresa como tal, no se cuenta con personal en el área de la Ingeniería, lo que podría presentar un problema al no tener personal al cual se pueda consultar. Sin embargo, la empresa suele subcontratar técnicos e ingenieros en distintas ramas cuando se requiere de sus conocimientos para solventar alguna necesidad, por lo tanto, se tendría el acceso de estos profesionales cuando se requiera.

## 1.9. Cronograma

Tabla 2. Cronograma por seguir.

Actividades por realizar	Semanas II Semestre 2021											
	1 25-07-22	2 01-08-22	3 08-08-22	4 15-08-22	5 22-08-22	6 29-08-22	7 05-09-22	8 12-09-22	9 19-09-22	10 26-09-22	11 03-10-22	12 10-10-22
<b>Objetivo General</b>												
<b>Primer Objetivo específico</b>												
Analizar el sistema en estudio para comprender el funcionamiento técnico.		1° Reunión 06-08-22										
Realizar las mediciones necesarias para para determinar los parámetros de funcionamiento actual.												
Establecer las variables críticas del sistema.												
<b>Segundo Objetivo específico</b>												
Estudiar los sistemas de MBC bajo el IoT.												
Desarrollo un prototipo de monitoreo en tiempo real.												
<b>Tercer Objetivo específico</b>												
Determinar el programa mas apto para desarrollar el software								2° Reunión 16-09-22				
Elaborar un prototipo de software funcional para utilizarlo en el MBC												
Desarrollo de sistema de almacenamiento de datos.												
<b>Cuarto Objetivo específico</b>												
Determinar los costos de operación con el sistema inicial												3° Reunión 12-10-22
Análisis técnico-financiero del sistema desarrollado mediante un análisis de ciclo de vida útil.												

## 2. Capítulo II. Marco teórico:

### 2.1. Beneficio de Café

El beneficio de café es el proceso mediante el cual por una serie de procesos muy cuidadosos se transforma el grano de café cereza en café pergamino seco o el llamado café en oro. En este proceso se separan las distintas capas del fruto y se seca el grano para permitir su conservación al almacenarlo. En el mundo existen dos métodos principales: beneficiado por vía húmeda y beneficio por vía seca [17].



**Figura 17. Proceso de Beneficiado de Café.**

**Fuente: Mundo Cafeto.**

### 2.2. Beneficiado húmedo de Café

En este proceso el café pasa por distintos procesos utilizando en mayor parte la acción del agua. [15]. Este tipo de beneficio se da tradicionalmente en Colombia, Costa Rica, Guatemala, México, El Salvador y algunos países de África. Con este proceso se logra obtener café con características más suaves en la bebida y aprovechar la mejor calidad del café. [17].

El primer paso de este modo de beneficiado consiste en el despulpado de café por medio de un proceso comúnmente llamado “Chancado”, el cual consiste en apretar la pulpa hasta liberar los granos gracias a la acción de los rodillos de las chancadoras [27].

Seguido de esto, se procede con el lavado, el cual consiste en lavar las mieles de los granos y separar el café por calidades, lo cual se hace por medio de la densidad y tamaño de los granos [27].

Este café lavado pasa por un proceso de pre secado antes de pasar al secado, en este proceso se escurre el café en una máquina que funciona con vibración y aire caliente [27]. Una vez terminado este proceso se pasa al secado, en donde se le da la humedad deseada al café para su correcto almacenamiento. [27].

### **2.3. Beneficiado seco de café**

En este proceso solamente se da el recibo, secado y trillado del café, una vez finalizado estas etapas el café está listo para exportarse. Este método se da en Brasil y la mayor parte de África, sin embargo, estos cafés presentan cuerpo y amargo más espesos y fuertes, lo que los hace de menor calidad. [17].



**Figura 18. Proceso de Beneficiado seco de Café.**

**Fuente: Altosanto Café**

### **2.4. Proceso de secado**

Es el proceso en el cual se le extrae la mayor cantidad de humedad obtenida por la semilla del café en los procesos anteriores, sometiéndola al paso de aire caliente durante un largo

periodo de tiempo, hasta reducir su humedad de 55% a un valor ideal de entre 10% a 12%. Este proceso se puede dar por medio de secadores solares o secadores mecánicos [15].

### **2.5. Temperatura de secado**

Es la temperatura a la cual son sometidas las semillas de café, esta no debe de exceder 60°C porque produce la muerte de las semillas ni puede ser muy baja pues aumenta el tiempo de secado y se pierde la calidad del café [15].



**Figura 19. Temperatura de secado.**

### **2.6. Secadores mecánicos**

Son cámaras en las cuales se introduce aire caliente impulsado por un ventilador para atravesar toda la masa de café. De este tipo se pueden encontrar un gran número de equipos con configuraciones distintas, entre los secadores más famosos se pueden mencionar: Secador estático sin cámara de pre secado, Silo-secador Cenicafé, Secador de dos pisos, secador de una sola capa, secador de tres pisos, secador tipo Guardiola, etc. [18]



**Figura 20. Secadores mecánicos de café.**

**Fuente: Ingesecc.**

### **2.7. Secador tipo Guardiola**

Este secador fue diseñado en 1869 por el Ing. José Guardiola. El secador consta de un tambor de grandes dimensiones perforado que, rota lentamente, a menos de 2 rpm, sobre su eje axial. Cuenta un eje con un túnel central fijo también perforado, por donde ingresa el aire caliente a la cámara de secado que se forma entre el túnel central y el tambor. El café se deposita dentro del tambor hasta estar prácticamente lleno, para que quede un espacio libre para el movimiento y mezcla de los granos durante la rotación. La alimentación del aire caliente generalmente se da por medio de un horno el cual utiliza combustibles sólidos como lo son la leña y la cáscara seca de café. [18]



**Figura 21. Secador tipo Guardiola.**

**Fuente: Cenicafé**

### **2.8. Café oro**

Para catalogar un café verde como primera calidad o café oro, este debe de tener una humedad entre 10 a 12 %, el tamaño del grano dependerá de que de la muestra usada quede un 70% sobre la malla o zaranda de 17/64 y no más de un % bajo zaranda 15/64, además el café deberá presentar una coloración verde o verde azulado, libre de olores extraños [10].



**Figura 22. Café oro.**

**Fuente: Beneficio de café Santa Rosa, 2022.**

## **2.9. Análisis de modos de falla y efecto.**

El Análisis de Modos de Falla y Efectos (AMFE), es una metodología que se aplica a la hora de tomar decisiones para diseñar o modificar productos, servicios o procesos. La finalidad de este análisis es estudiar los posibles fallos que pueden ocurrir para posteriormente clasificarlos según su importancia [21].

A partir de esto, se puede dimensionar la gravedad y frecuencia de las fallas, para de esta manera tomar las acciones necesarias que se deben de llevar a cabo para solucionar o evitar estos problemas, los cuales, pueden llegar a representar graves consecuencias para la empresa [21].

Es decir, lo que se pretende es hacer énfasis en la prevención y eliminación de los problemas y riesgos por encima de la corrección de la falla una vez que han aparecido. Para esto se establece una jerarquización que permite abordar los problemas en función de su gravedad y no en función de la urgencia [21].

Entre los beneficios que se pueden obtener al implementar el método AMFE tenemos:

- Identificar fallas o defectos antes de que ocurran.
- Incrementar la confiabilidad de los productos o servicios.
- Conseguir procesos de desarrollo más cortos.
- Documentar los conocimientos sobre los procesos.
- Incrementar la satisfacción del cliente.
- Documentar los resultados para la evaluación y así buscar la mejora continua.

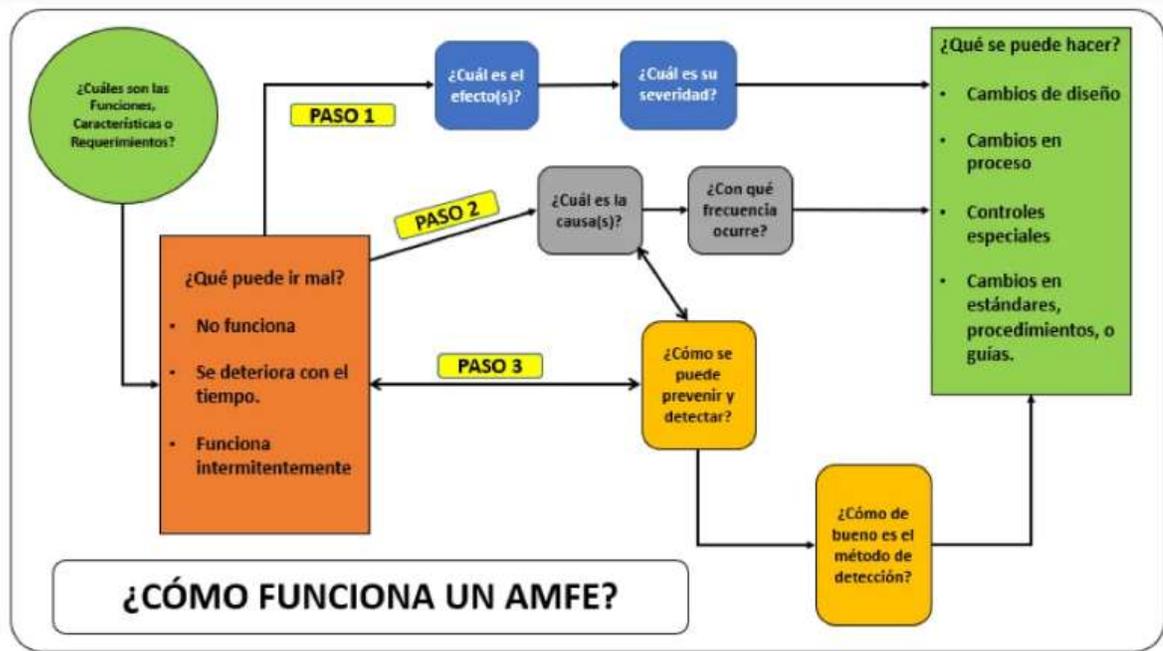


Figura 23. Diagrama de funcionamiento de AMFE.

Fuente: Progressa lean.

### 2.9.1. Modos de falla

Un modo de falla es cualquier evento que pueda causar una falla funcional, ya sea de un activo físico, sistema o proceso. Para una mayor facilidad en la identificación de un modo de falla, se recomienda primero hacer un listado de las fallas funcionales, esto quiere decir la pérdida de función de un equipo o proceso y luego registrar los modos de falla que pueden ocasionar cada falla funcional [21].

La descripción de un modo de falla debe de ser lo suficientemente detallada para poder seleccionar la estrategia correctiva apropiada. Se recomienda el uso de verbos específicos a la falla para evitar brindar información insuficiente para seleccionar la labor de mantenimiento óptima para su solución [21].

Una vez identificado correctamente el modo de falla, es posible considerar que sucederá cuando ocurra, evaluar las consecuencias y decidir si debe de hacerse algo para anticipar, prever, detectar, corregir o hasta rediseñar.

A la hora de hacer el mantenimiento de equipos o procesos se deben de tener en cuenta tanto los modos de falla causados por el deterioro, como, los modos de falla causados por los errores humanos o errores de diseño. Ya que el deterioro representa un porcentaje bastante bajo de las fallas, por lo tanto, llevaría a una estrategia de mantenimiento incompleta [21].

Los modos de falla pueden ser clasificados en tres grupos:

1- **Capacidad decreciente:** La capacidad cae por debajo del funcionamiento deseado. Entre las causas más frecuentes se tienen: deterioro, fallas de lubricación, suciedad, desarme y errores humanos.

2- **Aumento del funcionamiento deseado:** Cuando el funcionamiento deseado se eleva más allá de la capacidad luego de que el equipo entra en servicio. Entre las causas más frecuentes se tienen: sobrecarga deliberada constante, sobrecarga no intencional constante, sobrecarga no intencional repentina.

3- **Capacidad inicial:** Cuando desde el inicio el equipo no es capaz de hacer lo que se quiere.

### 2.9.2. Efectos de falla

Los efectos de falla describen qué pasa cuando ocurre un modo de falla, este responde a la pregunta ¿Qué ocurre? La descripción de estos efectos debe de incluir toda la información necesaria, se debe de hacer constar lo siguiente [21]:

- La evidencia de la falla.
- Las maneras en que la falla supone una amenaza para la seguridad o medio ambiente.

- En cómo afecta la producción u operaciones.
- Daños físicos causados por la falla.
- Que se debe de hacer para reparar la falla.

### **2.9.3. Pasos y criterios para la elaboración de un AMFE**

Para la realización de un análisis AMFE se debe de establecer de primera mano en cuáles procesos o equipos se van a incluir en este análisis. Con ese paso asegurado se debe de formar un equipo de trabajo en el cual, los miembros tengan conocimiento o aporten información importante para realizar de manera óptima el análisis [26].

Teniendo lo anterior en cuenta, se procede con la construcción de la tabla resumen del método, para esto, serán necesarios los siguientes apartados [26]:

**Modo de falla:** Como se mencionó anteriormente, el modo de falla se completa contestando a la pregunta ¿Cómo el proceso o equipo puede llegar a fallar?

**Efecto de falla:** Son los efectos que produce el modo de falla, este apartado se puede contestar contestando a la pregunta ¿Qué ocurre al producirse el modo de falla?

**Severidad (S):** La severidad determina la importancia del efecto del modo de falla. Esta se clasifica del 1 a 10, con lo que, al aumentar el valor del índice, aumenta la insatisfacción del cliente, la degradación de las prestaciones esperadas y el coste de reparación.

**Tabla 3. Severidad**

Criticidad	Severidad	Clasificación
	Efecto en el Proceso	
Extrema	Afecta la operación de la maquina o la línea de producción de manera directa, se detiene la producción. Los repuestos son difíciles de obtener. Tiempo de reparación mayor a 8 horas. Puede ocasionar peligro para los operadores.	10
Crítica	Afecta la operación de la maquina, con perdida de producto. Hay paro de equipo, sin repuestos en el inventario. Su tiempo de reparación es mayor a 8 horas. Puede ocasionar riesgos al operador.	9
Muy alta	Se tienen perdidas en las funciones primarias de la maquina, el equipo no opera. Producto desechado. Reparaciones entre 4 y 8 horas, con repuestos accesibles. Puede producir riesgo al operador.	8
Alta	Se tienen perdidas en las funciones primarias de la maquina, el equipo se detiene o puede operar con un bajo desempeño. Se desecha parte del producto. Reparaciones entre 2 a 4 horas con repuestos en bodega. Puede provocar riesgos al operador.	7
Moderada	La maquina opera con un bajo desempeño. Parte del producto se desecha o en espera de revisión. Reparaciones entre 0,5 a 2 horas. Puede producir un bajo riesgo al operador.	6
Baja	La maquina presenta problemas que generan perdida de tiempo, el procesos continúa con producto reprocesado. Se realizan reparaciones menores en la maquina. El riesgo al usuario es insignificante.	5
Muy baja	La maquina presenta problemas que generan perdidas de tiempo en ajustes y calibraciones. El proceso continúa con producto separado para reprocesar. Se realizan reparaciones menores en la maquina. El riesgo al usuario es insignificante.	4
Menor	La maquina opera con un desempeño menor al normal con afectación minima al producto, el proceso continua con producto separado para revisar. Se realizan calibraciones y ajustes minimos. El riesgo al usuario es insignificante.	3
Significativamente menor	Afectación minima del producto, el proceso continua con ajustes menores a la maquina sin perdida de tiempo, con producto a revisar. El riesgo al usuario es insignificante.	2
Ninguna	Sin efectos negativos sobre las maquina, producto o el usuario.	1

Fuente: Gutiérrez, H., & Salazar, R. (2009).

**Causa:** La causa es la acción que provoca la aparición de un modo de falla.

**Ocurrencia (O):** Es la probabilidad de que una causa se produzca y de paso a un modo de falla. Esta se clasifica con valores del 1 al 10, siendo el 10 el valor donde la falla es casi inevitable.

**Tabla 4. Frecuencia de ocurrencia del modo de fallo**

Ocurrencia		
Criterio	Efecto en Manufactura	Clasificación
Muy alto	Mas de 2 veces al día	10
	1 o 2 veces al día	9
Alto	1 o 2 veces a la semana	8
	Quincenalmente	7
Moderado	Mensualmente	6
	Trimestralmente	5
	Cuatrimstralmente	4
Bajo	Semestralmente	3
	Anualmente	2
Remoto	No se ha presentado	1

Fuente: Gutiérrez, H., & Salazar, R. (2009).

**Controles:** En este apartado se deben de anotar los controles o acciones existentes actualmente para detectar o prevenir las causas de fallo.

**Detección (D):** La detección indica la probabilidad de que la causa de falla sea detectada con la suficiente antelación como para evitar convertirse en un modo de falla. Cuanto mayor sea el índice de detección, menor será la capacidad de detección de la causa.

**Tabla 5. Facilidad de detección de la causa de falla.**

Detección					
Efecto en el cliente	Efecto en la manufactura	Inspección			Clasificación
		A	B	C	
Casi imposible	Absoluta certidumbre de no detección			X	10
Muy remota	Los controles probablemente no detectan			X	9
Remota	Los controles tienen poca probabilidad de detección			X	8
Muy baja	Los controles tienen poca probabilidad de detección			X	7
Baja	Los controles pueden detectar		X	X	6
Moderada	Los controles pueden detectar		X		5
Moderadamente alta	los controles tienen buena probabilidad de detección	X	X		4
Alta	los controles tienen buena probabilidad de detección	X	X		3
Muy alta	Los controles son casi ciertos de detectar	X	X		2
Total certeza	Los controles son totalmente ciertos de detectar	X			1

Fuente: Gutiérrez, H., & Salazar, R. (2009).

**NPR:** El número prioritario de riesgo es el valor que nos dice cuánta importancia se le debe de dar a la falla, entre más alto el valor mayor prioridad se le debe de dar a ese modo de falla. Este valor se obtiene al multiplicar los valores de la severidad, ocurrencia y detección.

$$NPR = S * O * D$$



Figura 24. Criterios de decisión respecto al NPR.

Fuente: Progressa lean.

## 2.10. Pareto

El análisis de Pareto, o también llamado como distribución ABC o curva 80/20, es una herramienta creada por Vilfredo Pareto en 1989. Esta nos permite determinar cuáles son los problemas más relevantes presentes en nuestro sistema, para de esta manera centrar los esfuerzos en solventar estos y no otros problemas que no representan gran afectación al servicio o producto brindado, mediante la aplicación del principio 80-20, el cual nos dice que el 20% de las causas generan el 80% de los problemas [25].

El diagrama de Pareto consiste en un gráfico de barras que ilustra las causas de los problemas por orden de importancia y frecuencia de aparición, costo o actuación. Permite además comparar la frecuencia, costo y actuación de varias categorías de un problema.

También se utiliza para expresar los costos que significa cada tipo de defecto y los ahorros logrados mediante el efecto correctivo llevado a cabo a través de determinadas acciones.

Este sistema de análisis se puede implementar cuando se necesite decidir sobre cuáles causas se debe de trabajar primero, cuando las causas de un problema puedan cuantificarse o cuando se necesite identificar cuáles son las causas más significativas de un problema. [25].

Procedimiento de elaboración:

- 1- Identificar el problema que se pretende solucionar
- 2- Identificar los factores que evidencian el problema: Elaborar una lista de los factores que producen el problema, estos pueden ser tipos de fallas, características de funcionamiento, variables del sistema, etc.
- 3- Establecer el margen de tiempo de estudio: Definir el tiempo de estudio de las muestras: segundos, horas, días, meses, etc.
- 4- Preparar una tabla para la recolección de datos: Debe de tener una columna de elementos o factores que inciden en el problema (errores o fallas, pasos de proceso, servicios, etc.) y una columna de la magnitud que representa la falla (costo, tiempo, cantidad, etc.)
- 5- Organizar la tabla de datos para el diagrama
- 6- Calcular el porcentaje acumulado

$$\text{Porcentaje} = \frac{\text{Costo de la falla}}{\text{Total de costos}} * 100$$

7- Elaborar el diagrama de Pareto: Se debe de identificar de manera correcta los ejes del diagrama. El eje vertical izquierdo serán las magnitudes asociadas a las fallas, el eje horizontal representará las fallas, ordenadas de izquierda a derecha, en orden decreciente y el eje vertical derecho representará el porcentaje acumulado del análisis.

8- Analizar el diagrama de Pareto.

Ventajas:

- Canaliza los esfuerzos hacia los pocos vitales
- Ayuda a priorizar y a señalar la importancia de cada una de las áreas de oportunidad
- Es el primer paso para la realización de mejoras.

Desventajas:

- En algunos gráficos existe la posibilidad de que aparezcan barras de la misma altura o que se requiera más de la mitad de las categorías para obtener más del 60% del efecto.
- Los resultados de este análisis dependen de las experiencias y punto de vista de los encargados del proyecto.

Cómo hacerlo [25]:

Según Vega (1999) los pasos para elaborar un diagrama de Pareto son:

1. **Determinar la situación problemática:** ¿Hay un problema? ¿Cuál es?
2. **Determinar los problemas** en torno a la situación problemática, incluyendo el período de tiempo.
3. **Recolectar datos:** Si hay una situación que genera problemas se deben de recolectar los datos de las posibles causas que los generan. Por ejemplo, el número de defectos si analizamos averías en un producto, costo de desperdicios de acuerdo con el tipo de

desperdicio, kilogramos de carga por tipo de producto. Se debe de mantener siempre las más unidades analizadas y el periodo de tiempo debe de ser el mismo para todas las causas, esto se refiere a que no deben de ser datos de un año respecto a los de otro año.

4. **Ordena de mayor a menor:** Ordenamos de mayor a menor las causas con base en los datos que recolectamos y su medida. Los dividimos en si el número de veces que se presenta un problema es por cantidad, si es por costo de desperdicios según el tipo de producto, etc.

5. **Realiza los cálculos:** A partir de los datos ordenados, calculamos el acumulado de los problemas, el porcentaje y el porcentaje acumulado.

6. **Graficamos las causas:** El eje X se destina para colocar las causas. El eje Y izquierdo se utiliza para la frecuencia de cada causa y el eje Y derecho es para el porcentaje acumulado, por lo tanto, va desde 0 hasta 100%.

7. **Graficamos la curva acumulada.**

8. **Analizamos el diagrama.**

## 2.11. Industria 4.0

La industria 4.0 hace referencia a una política gubernamental para la economía basada en las estrategias de alta tecnología como la automatización, digitalización de procesos y el uso de las tecnologías de la electrónica [20].

Esta se sustenta con el desarrollo de sistemas como el internet de las cosas (IoT), la fabricación aditiva, la impresión 3D, ingeniería inversa, big data, inteligencia artificial, etc. Ya que, al funcionar estos conceptos para un solo objetivo se generan cambios importantes no solo en la industria manufacturera, sino también en el modo de hacer

negocios, favoreciendo de esta manera a las empresas a enfrentar los cambios en el mercado. [20].

## **2.12. IoT**

El Internet de las cosas (IoT) es una red de dispositivos y componentes de software que se conectan entre sí para el intercambio de información y lograr un objetivo en común [14].

Con el uso de la plataforma IoT se pretende la construcción de un sistema general basado en la nube, en conjunto a un sistema de mantenimiento predictivo que permitirá la simplificación del mantenimiento dentro de la fábrica [22].

El internet de las cosas nos permite solucionar problemas dentro de una compañía utilizando los propios datos de sus procesos. Esto debido a que el IoT no trata solo de tener dispositivos conectados como se mencionó anteriormente, sino de la información que recopilan estos dispositivos y las conclusiones que se toman a partir de su análisis, para transformar el negocio y lograr de esta manera reducir costos con mejoras, como la reducción del desperdicio de materiales, la optimización de procesos o la expansión de líneas productivas que solo son posibles con datos confiables en tiempo real. Esto ayuda a operar de manera más eficiente y lograr proporcionar más valor a los clientes.

Dentro de los beneficios que se logran con la implementación de sistemas IoT, tenemos:

1- Supervisión remota: Se pueden supervisar las variables críticas de cualquier tipo de activo, en cualquier lugar, de forma continua o en intervalos. Estos datos nos pueden ayudar a:

- Reducir costos de servicio y mejora de procesos.
- Comprender el rendimiento de los productos para ofrecer mejor experiencia a los clientes.

2- Mantenimiento predictivo: Estos incorporan software de aprendizaje automático que analiza datos para predecir los resultados, esto permite ir más allá del modelo tradicional y usar los datos para identificar problemas antes de que estos ocurran, ofreciéndole a los técnicos actuar antes de que se manifieste el problema o la falla.

3- Administración de instalaciones: Esto permite la supervisión de los edificios, la infraestructura y otros espacios que permiten la mejora de la eficiencia energética, el uso del espacio, productividad y la seguridad. Estos datos nos pueden ayudar a:

- Ahorrar dinero mediante automatización de sistemas como la iluminación o calefacción.
- Aumentar la satisfacción de los empleados, clientes y demás ocupantes de los recintos.

4- Fabricación eficaz: A partir de los datos brindados por dispositivos y sensores utilizados en sistemas IoT, se pueden lograr encontrar nuevas formas de administrar procesos para aumentar la eficiencia de estos y la calidad de los productos. Por ejemplo:

- Identificando cuellos de botella que nos reducen la eficiencia del proceso.
- Reduciendo el tiempo de inactividad causado por errores de equipo o de mantenimiento no planeado.
- Desechando productos por debajo del estándar de calidad, antes de salir al mercado.

Sin embargo, el principal problema en la implementación de sistemas IoT es la comunicación entre los dispositivos industriales convencionales y las plataformas web, ya que muchos no cuentan con la tecnología suficiente para generar la conexión necesaria. Es por lo que, para solventar esta necesidad, se propone trasladar el lenguaje de equipo

industrial convencional a dispositivos IoT como el Arduino o los microcontroladores Raspberry-Pi, que en conjunto a sensores y otros dispositivos nos permiten realizar la comunicación necesaria. [22].

La ISO en conjunto con la Comisión Electrónica Internacional (IEC), publicaron en 2018, la norma ISO/IEC 30141 Internet de las Cosas (IoT)- Arquitectura de Referencia. Este estándar se construyó con el fin de tener una arquitectura de referencia normalizada para hacer del internet de las cosas un mundo más eficaz, fiable, resiliente y segura [19].

Según esta norma, el IoT es una infraestructura de entidades, personas, sistemas y recursos de información interconectados, junto con servicios que procesan y reaccionan a la información del mundo físico y del mundo virtual [19].

Con esta norma se pretende tener una base común respecto a la terminología o las arquitecturas que se usan, con el fin de ayudar a los desarrolladores a tener un ecosistema interoperable, para poder lograr que diversos tipos de dispositivos se comuniquen sin problemas entre sí. Asegurando de esta manera la seguridad, la protección, la privacidad, la fiabilidad y la capacidad de recuperación frente a perturbaciones del sistema.

Este estándar ha dado mayor relevancia a un amplio abanico de normas ISO que ayudan a reforzar los principios de los cuales se debe manejar la aplicación de sistemas que utilizan el Internet de las Cosas, entre estas normas podemos mencionar:

- ISO/IEC 27400: Esta norma detalla los principios y las funciones de seguridad y privacidad de internet de las cosas.
- ISO/IEC 30149: Este estándar señala una metodología común para implementar y mantener la fiabilidad de los servicios y los sistemas IoT.

- ISO/IEC 30161-1: En esta norma se detallan los requisitos para una plataforma de intercambio de datos de internet de las cosas.

- ISO/IEC 30165: Esta norma recoge aspectos de todas las anteriores, pero se centra en crear una guía para implementar sistemas IoT en tiempo real.

Según esté estándar la aplicación del IoT es extender la interconexión de equipos, no solo de los equipos convencionales como computadoras, celulares inteligentes, tabletas, etc. Si no, lograr que equipos que carecen de esta tecnología puedan ser conectados a la red por medio de otros dispositivos y generar en ellos la capacidad de comunicarse e interactuar a través del internet [35].

Hoy en día estos dispositivos se presentan en una amplia variedad de plataformas de hardware, desde microcontroladores de 8 bits hasta las CPU de x86 que se encuentran en las computadoras de escritorio. El tipo de dispositivo que se debe de usar va a depender de muchas variables en torno a la aplicación para la cual se destinara. Entre estos factores, algunos que se pueden mencionar son el costo, el consumo de energía, las redes y las entradas y salidas disponibles.

Entre los dispositivos más comunes para la implementación de sistemas IoT se encuentran los PLC's, estos dispositivos tienen la capacidad de expandir la capacidad de entradas y salidas u otras funciones por medio de diferentes módulos que se le pueden conectar. A su vez estos tienen la capacidad de establecer la comunicación entre diferentes equipos por medio de sensores, actuadores y otros dispositivos y de esta manera lograr que estos interactúen entre ellos. Sin embargo, algunas veces la implementación de estos equipos suele resultar relativamente alto. Es por esto que también se tienen microcontroladores como el Arduino o los Raspberry-Pi, con los cuales, por medio de la

conexión de algunos módulos de bajo costo, se logra conectar los equipos por medio de sensores y otros dispositivos a otros equipos y a la red, con el fin de lograr la interconexión que se busca en el IoT[35].

### **2.13. Big data**

Universalmente aún no se cuenta con una definición exacta de lo que es la big data, sin embargo, muchas partes a nivel mundial concuerdan en que la big data hace alusión a una cantidad de datos caracterizada por su elevado volumen, elevada velocidad de recolección y alta variedad en estos, que demandan soluciones innovadoras para lograr procesarlos para la mejora del conocimiento y la toma de decisiones de las organizaciones [23].

### **2.14. Mantenimiento Basado en Condición (MBC)**

El mantenimiento basado en condición, también conocido por sus siglas MBC, se trata de una evolución del mantenimiento predictivo con la implementación de nuevas tecnologías. De esta manera se logran producir predicciones a partir de la monitorización de diferentes parámetros, que nos indicarían cuándo se deben de realizar acciones de mantenimiento sobre algún sistema, equipo o componente, minimizando de esta manera los paros no programados y otras fallas [24].

Este tipo de mantenimiento se logró gracias al desarrollo del Internet de las Cosas (IoT), ya que con esto se logró tener el medio necesario para poder recopilar, recuperar y analizar grandes cantidades de datos provenientes de sensores u otros dispositivos en tiempo real. [24].

### **2.15. Arduino**

Arduino es una plataforma para prototipos electrónicos de código abierto. Este puede analizar el entorno mediante el análisis por medio de entradas analógicas o digitales desde una

enorme variedad de sensores y otros dispositivos. De igual manera este puede afectar a su entorno mediante el control de dispositivos como motores, luces, actuadores, etc. Este microcontrolador se programa usando el Arduino Programming Language y el Arduino Development Environment. Este dispositivo tiene la capacidad de trabajar de manera autónoma o comunicándose por medio de diferentes softwares a un computador.

Como se mencionó anteriormente este equipo consta de 14 entradas/salidas PWM o digitales y con la etiqueta de la A0 a las A5 se encuentran las entradas analógicas puras, teniendo de esta manera 6 pines PWM, 6 pines analógicos y 20 pines digitales.

El Arduino se alimenta mediante una entrada USB tipo A, la cual también sirve como medio para cargar las programaciones al dispositivo o como medio de comunicación con el computador. Este también tiene un puerto de alimentación de 9V a 12V con el fin de que este pueda trabajar de manera autónoma con el programa ya cargado [29].



**Figura 25. Arduino UNO.**

**Fuente: Arduino**

## 2.16. ESP8266

El ESP8266 es uno de los módulos más empleados en los proyectos de comunicación inalámbrica con Arduino. Este es un circuito impreso con capacidad de comunicarse por medio de una red de internet inalámbrica fabricado por la empresa Espressif, este se conecta por medio de los pines RX y TX que se utilizan para la comunicación serial, los cuales se muestran en la figura 26. El módulo necesita de una alimentación de 3.3V en corriente continua para un consumo de entre 0,5  $\mu$ A a 170mA, la cual, si bien puede ser brindada por el mismo Arduino, no se recomienda hacerlo de esta manera, para esto se recomienda utilizar una fuente de alimentación externa que sea más exacta, ya que cualquier pico de voltaje que pase por encima de los 3.6V quemaría el módulo [33].

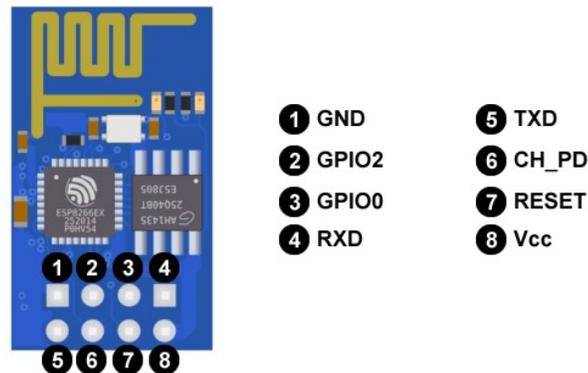


Figura 26. Pines de conexión del ESP8266.

Fuente: Del Valle, L (2018).

En años anteriores este módulo era un dispositivo muy difícil de programar, ya que dependía de mucho conocimiento en los comandos AT y en el idioma mandarín, debido a que aún no se habían realizado traducciones en su programa. Según del Valle (2018) debido a la gran utilización de estos dispositivos en diferentes proyectos durante los meses posteriores, se realizó la traducción de los firmwares y la documentación oficial lo que facilitó en gran manera la programación de estos dispositivos [32].

## 2.17. Termopares

Los termopares son de los sensores menos complejos que existen, lo cual los hace ideales para utilizarlos en aplicaciones industriales. Estos consisten en dos alambres de diferente material unidos entre sí en un extremo, el cual será el punto de medición. En la salida del sensor se lee una diferencia de voltaje que se da entre la unión caliente y las puntas de medición al final de los alambres que será proporcional a la diferencia de temperatura.



**Figura 27. Termopar.**

**Fuente: Sparkfun**

La relación entre la diferencia de voltaje y el valor de temperatura es el resultado de un fenómeno descubierto por Thomas Seebeck en 182, en este un circuito hecho de dos alambres diferentes alteraban la posición de la aguja de una brújula cuando la unión de los alambres era calentada. Cada tipo de termopar tiene su propia curva de voltaje Seebeck. Esta curva depende de los metales por los cuales están compuestos el termopar y los voltajes generados por estos son medidos en mV.

Los termopares se dividen en dos grupos, los que están contruidos con metales básicos y los que están contruidos con metales nobles. Los metales básicos son elementos de menor costo, generalmente se usa cobre, hierro o aleaciones de níquel. Los termopares de metales nobles son contruidos con elementos que suelen ser un poco más costosos como lo son el platino y rodio, es por lo que suelen ser menos usados en las aplicaciones industriales.

Algunos de los tipos de termopares más comúnmente utilizados se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 6. Tipos de termopares.**

Tipo de termopar	Rango de uso (excluyendo la limitación del aislamiento del cable)	Composición de alambre
Tipo K	-270 a 1370C (-454 a 2500F)	Ni-Cr (+ve ), Ni -Al
Tipo N	-270 a 1300C (-454 a 2372F)	Ni-Cr-Si (+ve ), Ni-Si-Mg
Tipo T	-270 a 400C (-454 a 752F)	Cu (+ve), Cu-Ni
Tipo J	-210 a 1200C (-346 a 2193F)	Fe (+ve), Cu-Ni
Tipo E	-270 a 1000C (-454 a 1832F)	Ni-Cr (+ve), Cu -Ni
Tipo R	-50 a 1768C (-58 a 3214F)	Pt-13% Rh (+ve) , Pt
Tipo S	-50 a 1768C (-58 a 3214F)	Pt-10% Rh (+ve), Pt
Tipo B	0 a 1768C (32 a 3308F)	Pt-30% Rh (+ve), Pt

Fuente: Fluke Process Instruments

### **2.18. Análisis de costo de ciclo de vida útil**

Según Parra y Crespo (2019) el Análisis de Coste de Ciclo de Vida, es una metodología desarrollada para evaluar como varían los costes de un activo a lo largo de su vida útil. En este se estudia a nivel técnico y económico todos los costos implicados en la vida útil de un equipo o sistema de producción, desde su diseño hasta su reemplazo. Este análisis nos permite comparar equipos o procesos productivos a través de los costos producidos en un determinado margen de tiempo, dentro de estos se toman en cuenta el costo de adquisición e instalación, los costos operáticos y de mantenimiento y los costos asociados a la sustitución del equipo.

Sin embargo, la formulación de un ACCV es un poco más complejo de lo que se describe anteriormente, ya que según Woodward (1997), para realizar un análisis de

manera profunda, en donde se estimen bien todos los costos asociados a la vida útil de un equipo o proceso, se deben de seguir todos los pasos mencionados en la figura 28.

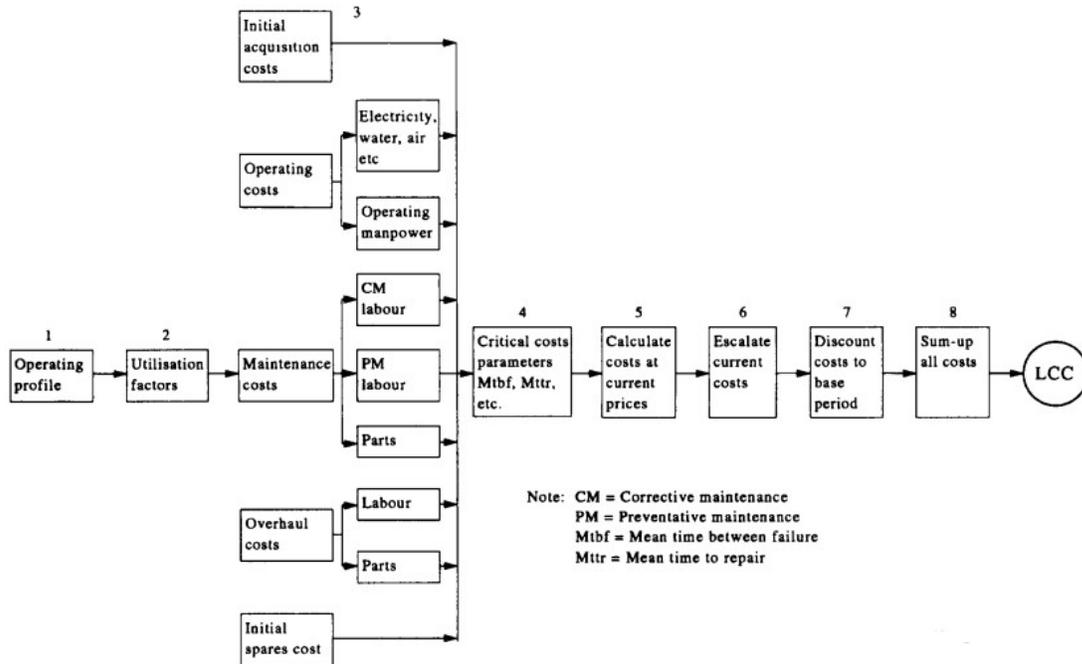


Figura 28. Formulación de costo de ciclo de vida.

Fuente: Woodward (1997)

Aunque en muchos textos, como se mencionaba anteriormente, se nos menciona que para el desarrollo correcto de un Análisis de costo de ciclo de vida se deben de especificar todos los gastos en que se incurre desde el momento de su adquisición hasta el momento de su reemplazo, sin embargo, según la norma UNE-EN 60300-3-3 sobre el cálculo del coste de ciclo de vida, este puede aplicarse para el ciclo de vida completo o a fases o combinaciones fases del ciclo de vida de un equipo o proceso. Entre estas fases hay 6 de ellas que son las principales en el ciclo de vida de cualquier producto:

- Concepción y definición.
- Diseño y desarrollo.
- Fabricación.

- Instalación.
- Operación y Mantenimiento.
- Eliminación.

El principal objetivo de realizar un análisis de costo de ciclo de vida es proporcionar criterios para la toma de decisiones en cualquier fase del ciclo de vida, entre las decisiones más comunes que se suelen tomar luego de elaborar un análisis de costo de ciclo de vida se tienen:

- Evaluación y comparación de enfoques alternativos de diseño.
- Valoración de la viabilidad económica de proyectos o productos.
- Identificación de los contribuyentes de coste y de mejoras efectivas de coste.
- Evaluación y comparación de estrategias alternativas para el uso, operación, pruebas, inspección, mantenimiento, etc, del producto.
- Asignación de los recursos disponibles entre las diferentes prioridades de desarrollo o mejora de un producto.
- Valoración de los criterios de garantía del producto mediante pruebas de verificación y sus compromisos.
- Planificación de la financiación a largo plazo.

Uno de los costes más importantes en un equipo o proceso, son los costos asociados a la confiabilidad, este se usa para describir un producto en cuanto a la fiabilidad, mantenibilidad y logística de mantenimiento. El rendimiento que producen estas áreas puede tener un impacto significativo sobre un ACCV. Estas consideraciones deberán de analizarse críticamente y evaluarse continuamente en fases de diseño o rediseño para optimizar un producto. En la

figura 29 se pueden observar algunos costos asociados a la confiabilidad convertidos a costos de operación y mantenimiento.

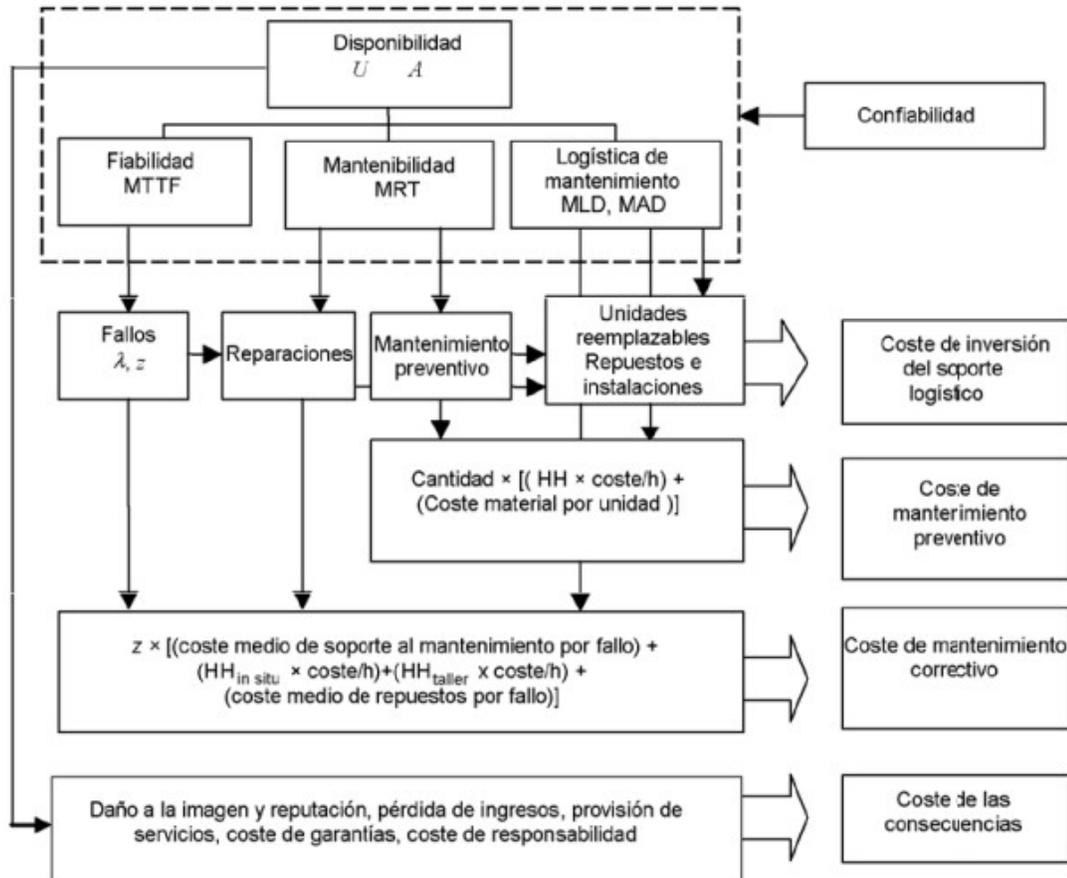


Figura 29. Costos de operación y mantenimiento.

Fuente: UNE-EN 60300-3-3

### **3. Capítulo III. Desarrollo de objetivos**

#### **3.1. Determinación de la variable de mayor impacto del proceso.**

##### **3.1.1. Análisis de modos de falla y efectos. (AMFE)**

En la primera entrevista con el personal de la compañía Santa Rosa Limitada, se realizó un recorrido por todo el sistema de beneficiado de café, haciendo énfasis en el área de secado, esto con el fin de entender de mejor manera el óptimo funcionamiento de este. En esta entrevista y recorrido se conversó con Freddy Vargas, el encargado del área de secado de café, el mismo nos comenta que la calidad del producto se puede ver seriamente afectada debido a las fluctuaciones de temperatura durante el proceso de secado, ya que, este proceso se debería de llevar a cabo con temperaturas los más estables posibles, cercanas a los 60°C y evitar a toda costa, que estas se eleven a más de 65°C. Sin embargo, debido al actual sistema de control de esta variable, muchas veces se trabaja por largos periodos de tiempo con temperaturas no deseadas, afectando seriamente el producto final.

Es debido a esto que surge la necesidad de implementar un sistema de monitoreo y alarma distinto, que facilite al personal de planta el monitoreo de las temperaturas para así tomar las medidas necesarias durante el periodo de secado para mantener las temperaturas lo más cercanas a 60°C.

Según Serra (2008), para implementar un sistema de monitoreo en algún proceso se debe de conocer a profundidad el funcionamiento de los equipos y sus funciones, Para esto se debe de realizar una revisión de las fallas más comunes y las estrategias de control actuales. Para esto se lleva a cabo un análisis de modos de falla y efectos en los subsistemas que afectan directamente el sistema de secado.

Se inicia con el subsistema que se encarga de transportar los granos en pergamino, desde el área de pre secado hasta las tolvas de las Guardiolas. En conjunto con Adrián Royo, el encargado de mantenimiento de la planta, se definen las principales fallas funcionales que se presentan:

- 1) Se detiene el transporte del café por rotura de pernos en la transportadora de tornillo.
- 2) Se revienta una cadena de transmisión de potencia.
- 3) Se detiene uno de los elevadores por sobrecarga.

Una vez observadas las fallas más frecuentes y otras fallas relacionadas al subsistema y los equipos utilizados en el transporte del café hacia las secadoras. Se procedió a realizar el mismo estudio para los demás subsistemas del proceso de secado de café.

En la tabla 7, se muestra el resultado del análisis AMFE realizado en conjunto con el encargado de mantenimiento para el subsistema encargado del suministro de calor para el secado.

**Tabla 7. AMFE del subproceso de suministro de aire caliente.**

Análisis de efectos y modos de falla (AMFE)										
Empresa: Compañía Santa Rosa Limitada			Proceso: Suministro de aire caliente				Fecha: 5-8-2022			
Sistema: Secado de Café			Elaborado por: Luis Eduardo Sánchez Madriz							
Función del proceso	Equipo	Modos de fallo	Efecto	S	Causa	O	Controles	D	NPR	Acciones
1-Mantener un flujo constante de X m <sup>3</sup> /min de aire caliente a una temperatura de 60°C	Ventiladores	Desbalance mecánico en los ventiladores	Se debe de detener el proceso para balancear. Tiempo estimado de reparación es de 4 horas.	7	Uso normal del equipo. Exceso de contaminantes adheridos a la turbina.	2	El personal de mantenimiento hace rondas de supervisión cuando lo cree necesario o el operador informa.	7	98	Mantenimiento preventivo y rutinas de supervisión
		Vibración excesiva por encima de lo normal	Se debe de detener el proceso para limpiar la turbina antes de que ocasionen problemas en otros equipos asociados.	6	Uso normal del equipo	4	El personal de mantenimiento hace rondas de supervisión cuando lo cree necesario o el operador informa.	7	168	Mantenimiento preventivo y rutinas de supervisión
2-Permitir ajustar el flujo y la temperatura de acuerdo con las necesidades del proceso	Motores	Falta o fallo del lubricante	Se debe de detener el proceso para reponer el faltante de lubricante o sustituir según corresponda. Tiempo de paro para llevar a cabo la tarea es de 2 horas.	7	Desgaste de sellos. Uso de lubricantes diferentes al especificado. Falta de mantenimiento	3	El personal de mantenimiento hace rondas de supervisión cuando lo cree necesario o el operador informa.	8	168	Mantenimiento preventivo y rutinas de supervisión
		Falla en el sistema mecánico de transmisión de potencia	Se debe de detener el proceso para realizar el cambio de la patea. Tiempo de reparación es de 1 hora.	6	Uso normal del equipo. Falta de mantenimiento.	2	El personal de mantenimiento hace rondas de supervisión cuando lo cree necesario o el operador informa.	8	96	Mantenimiento preventivo y rutinas de supervisión
	Temperatura anormal de operación	Se detiene el proceso y se procede a medir el aislamiento para decidir si puede seguir en operación o se debe de sustituir. Tiempo estimado de paro 3 horas para sustituir.	7	Sistema de ventilación del equipo obstruido por contaminantes externos. Protecciones no aptas para el equipo.	3	El personal de mantenimiento hace rondas de supervisión cuando lo cree necesario o el operador informa.	8	168	Mantenimiento preventivo y rutinas de supervisión	
3-Mantener estándares de apariencia definidos por el usuario		Daño en los rodamientos	Se detiene el motor y por lo tanto el proceso. Tiempo de paro para reemplazar el motor es de 3 horas. Se procede con la reparación en el taller	7	Deterioro del lubricante Envejecimiento Desalineamiento mecánico	3	El personal de mantenimiento hace rondas de supervisión cuando lo cree necesario o el operador informa.	7	147	Mantenimiento preventivo y rutinas de supervisión
		Devanados del estator quemados o en corto circuito	Se detiene el motor y por lo tanto el proceso. Tiempo de paro para reemplazar el motor es de 3 horas. Se procede con la reparación en el taller	6	Bajo nivel de aislamiento. Contaminación. Mal funcionamiento de protecciones.	3	El operador reporta el fallo	8	144	Mantenimiento preventivo y rutinas de supervisión
4. Permitir al operador regular la temperatura en las secadoras.	Termómetros	Indicación incorrecta de temperatura	Produce lecturas incorrectas de temperatura, afectando la calidad del secado. Debe de ser sustituido.	6	Falta de mantenimiento. Equipo no apto.	10	No existe un control	8	480	Optar por un sistema de control de temperaturas mas eficiente
	Dampers	Bloqueo total o parcial del mecanismo de accionamiento	No se logra regular la temperatura de manera correcta. Tiempo de reparación estimada es de 2 horas.	6	Falta de mantenimiento.	9	No existe un control	8	432	Mantenimiento preventivo y rutinas de supervisión
	Ductos	Entrada de aire exterior en alguna de las uniones o estructura	Inestabilidad en la temperatura del aire de secado, afectando la calidad del producto. Tiempo estimado de reparaciones es de 2 horas.	5	Rotura debido a vibraciones. Desajuste o fallo de los pernos de sujeción.	1	El operador reporta el fallo.	7	35	Mantenimiento preventivo y rutinas de supervisión

Fuente: Elaboración propia.

Según la teoría y como se puede apreciar en las tablas resumen mostradas anteriormente del AMFE, los componentes más críticos del sistema serían los termómetros utilizados para

el control de las temperaturas y los dampers de los ductos de aire caliente, ya que se puede observar un valor del número de prioridad de riesgo (NPR) bastante elevado. Esto se debe a que, aunque no son componentes que representan grandes costos en reparaciones o paros no programados, si producen una gran pérdida económica a la empresa, esto debido a que estos pueden llegar a generar pérdidas de calidad en el café en cierta cantidad o en la totalidad del producto procesado, lo que a su vez lleva a una pérdida en la confiabilidad de los clientes hacia la empresa.

Dentro de este estudio no se tomaron en cuenta para analizar algunas variables importantes, tales como la humedad del grano de café y la velocidad de rotación de las Guardiolas. Esto se debe a que, de acuerdo con la información brindada tanto por el personal administrativo como por los operadores del proceso, la forma de control de estas variables es meramente manual y relativamente sencilla. Por ejemplo, en años anteriores, el personal encargado del proceso en conjunto con representantes del Icafé realizaron un estudio local en el cual lograron dictaminar que la velocidad óptima para el secado de café bajo las condiciones presentes en el beneficio es de 2.25 RPM. Esta es la velocidad que se usa actualmente en el proceso de secado para las 11 secadoras presentes y debido a que el desarrollo del proceso no se ha modificado desde entonces, se mantienen los parámetros de operación recomendados por dicha entidad.

Por otro lado, el proceso de control de humedad del grano se realiza manualmente por el operador de turno. Este control se realiza obteniendo una muestra de café de la secadora, esta muestra se debe de limpiar lo mejor posible y se deja reposar a temperatura ambiente durante al menos 10 minutos para luego ser colocada en el equipo que se utiliza para medición de humedad. El primer muestreo se realiza después de las 20 horas de secado, esto para iniciar el

control de la humedad de los granos, dependiendo de la humedad obtenida y con los conocimientos empíricos de los encargados del proceso, se decide aproximadamente cuánto tiempo más se debe de dejar el grano de café secando, sin embargo, este tiempo puede llegar a variar si se llegan a tener variaciones importantes en la temperatura de secado. Luego del primer muestreo se realiza un muestreo de humedad cada 2 horas aproximadamente hasta llegar a una humedad de 12%, a partir de esta humedad el muestreo se realiza cada media hora, con el fin de asegurar el punto óptimo de 10.5% de humedad al grano.



**Figura 30. Medidor de humedad de granos portátil.**

**Fuente: GEHAKA**

Para el subsistema de suministro de café se tomó en cuenta los equipos utilizados para llevar el café desde el proceso de presecado hasta las Guardiolas, en este se ven incluidos varios motorreductores eléctricos, transportadores de tornillo, algunos elevadores de cangilones y el sistema eléctrico de alimentación. Para este se utilizó un formato igual al de la tabla 7, como se muestra en apéndice A para realizar el análisis, de este análisis se obtuvo que el equipo más crítico es el sistema eléctrico de control y potencia, al tener el mayor valor crítico con un NPR=168

De la misma manera para el subsistema de Rotación de las guardiolas, en este se especificaron los equipos que se utilizan para producir y controlar la rotación de las guardiolas a una velocidad promedio de 2.25 RPM. En este análisis se obtuvo como resultado que, debido a un modo de falla, los equipos más críticos son los motores y las reductoras, con un NPR=168, como se muestra en apéndice B.

De esta manera, se logra demostrar que, aunque en todo el proceso se tienen equipos bastante costosos en relación con otros equipos del mismo proceso, no siempre van a ser estos los que más criticidad producen al sistema en caso de falla, ya que en este caso al realizar el análisis de todo el proceso se puede observar que un equipo pequeño y relativamente barato, es que el que produce el mayor NPR, requiriendo, según las fuentes teóricas, atención inmediata por parte de la gerencia.

### **3.1.2. Diagrama de Pareto**

Para el desarrollo del análisis de los costos que producen anualmente las fallas más comunes dentro de la empresa, asociada al proceso de secado de café, se realizaron diferentes entrevistas al administrador de planta, además de esto, se tomaron datos de los registros que lleva la empresa de las cosechas de los años desde 2018 hasta inicios de 2022. En este caso la finalidad del análisis de Pareto es determinar en donde se genera la mayor problemática técnico-financiera de la empresa.

Se inició tomando los datos suministrados por el administrador de planta y los registros de las cosechas para realizar los cálculos necesarios para promediar los gastos extra anuales asociados al proceso de secado de café. Así mismo se utilizó la “hora pico” como punto crítico para tomar la tarifa de consumo eléctrico.

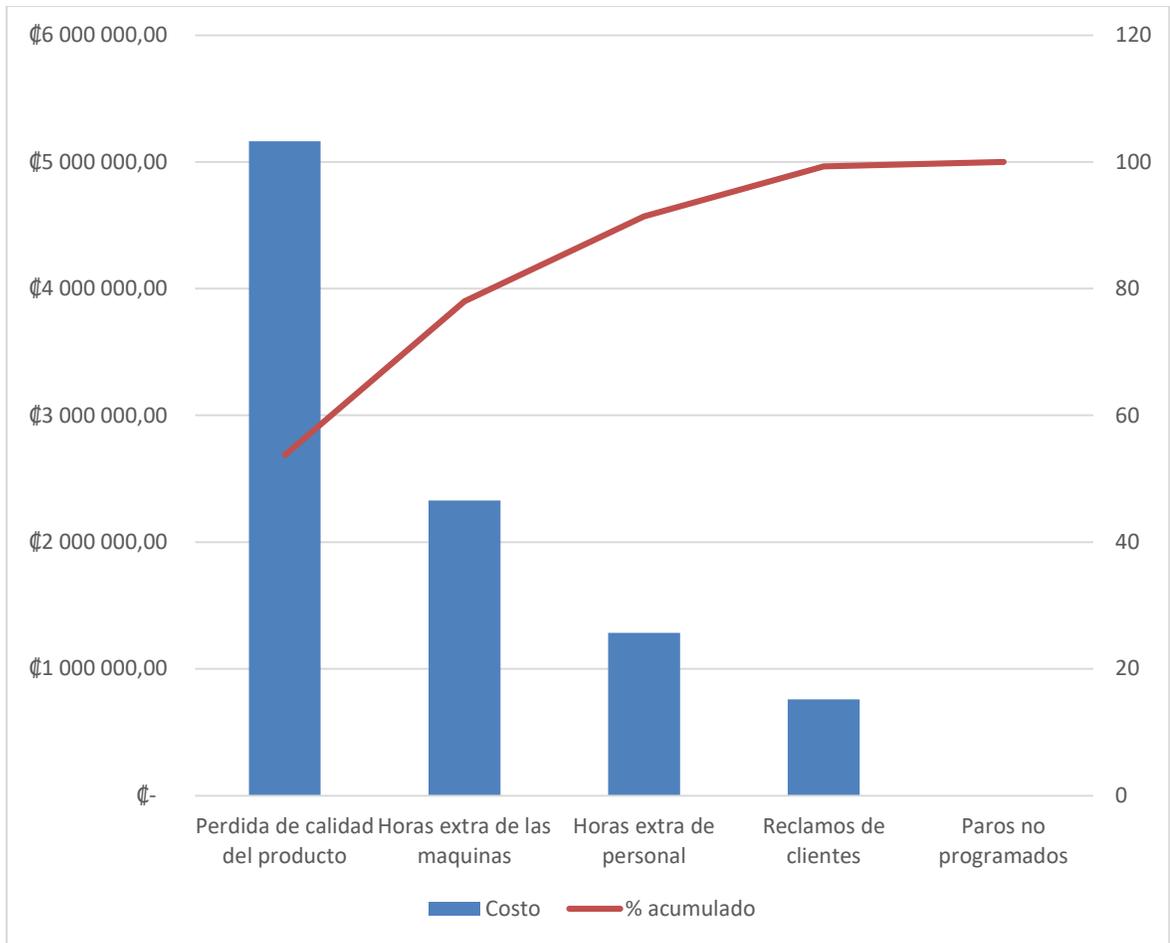
En la tabla 8 se muestran las fallas que producen mayor impacto económico del proceso de secado asociadas al mal manejo de temperaturas y mantenimiento. Para esto se tomó en cuenta solamente el café de primera calidad, dejando de lado el café de segunda y el café verde, debido a que de estos no se llevan reportes tan específicos.

**Tabla 8. Pareto del sistema de secado.**

Falla	Costo	Costo acumulado	% total	% acumulado
Perdida de calidad del producto	₡ 5 161 502,50	₡ 5 161 502,50	53,7567611	53,7567611
Horas extra de las maquinas	₡ 2 329 263,36	₡ 7 490 765,86	24,2591482	78,0159093
Horas extra de personal	₡ 1 283 264,16	₡ 8 774 030,02	13,3651248	91,3810341
Reclamos de clientes	₡ 758 880,00	₡ 9 532 910,02	7,90369294	99,284727
Paros no programados	₡ 68 677,56	₡ 9 601 587,58	0,71527296	100
Total		₡ 9 601 587,58		

Fuente: Datos obtenidos del Departamento Contable y del de Mantenimiento

De la tabla se pueden observar que 3 de los grupos abarcan más del 90% de las fallas, estos a su vez son los que producen la mayor parte de los costos extra en los que incurre la empresa. Estas fallas son las que ocurren con mayor incidencia o que tienen un mayor grado de gravedad cuando ocurren, es por lo que surge la necesidad de analizarlos y buscar la forma de solventar el problema que las provoquen.



**Figura 31. Gráfico del diagrama de Pareto del sistema de secado de café.**

**Fuente: Elaboración propia**

En la figura 31 se muestra la distribución obtenida según los costos extra anuales que producen las fallas analizadas y el porcentaje acumulado que cada una de estas representa. Por medio de este gráfico, se pueden visualizar los Pocos Vitales que representan el mayor gasto financiero del proceso de secado de café.

Como se ha mencionado anteriormente, la calidad del café se ve afectada solamente por el proceso de presecado y secado de café, siendo este último el que mayor afectación llega a producir, debido a un mal procesado, ya sea por las temperaturas, la cantidad de horas o hasta la velocidad de rotación, sin embargo, como se mencionó anteriormente la velocidad de

rotación se descarta debido al control de velocidad implementado en nuestro Beneficio. Por lo tanto, el mayor problema que produce pérdida de la calidad del café es el control inadecuado de las temperaturas debido al sistema utilizado actualmente. Esto se ve reflejado en la tabla anterior con una pérdida de hasta ¢5 000 000 anuales por pérdida de calidad del producto, tomando en cuenta solo la primera calidad, sin embargo, al tener malos procesos de secado en todas las calidades del café, al producto final que sale de la empresa muchas veces se le aplica un castigo en el precio de venta.

Como se muestra en la figura 31 y como se mencionó anteriormente, una de las fallas más recurrentes son las horas extra que deben de trabajar los equipos por la duración del proceso de secado, sin embargo, no solo el factor económico se ve afectado con esta falla del proceso. Un sector muy afectado es el factor ambiental, ya que al tener al equipo trabajando horas extra y al utilizar hornos alimentados con madera, se tiene también horas extra de gases contaminantes que se elevan hacia la atmosfera y horas extra de consumo energético, afectando de cierta manera la contaminación ambiental.

### **3.2. Prototipo del equipo de monitoreo.**

Con la implementación de un sistema de monitoreo y alerta en las secadoras de café, se pretende garantizar de este modo un grano de excelente calidad, con un secado constante en la totalidad del lote. Un sistema de control de temperaturas ineficiente afecta en gran manera tanto la calidad del producto como la rentabilidad de la empresa, hablando de gastos como el pago de horas extra a los trabajadores o las horas extra de consumo energético en el que se incurre como se mencionó anteriormente. Desde el punto de vista de mantenimiento, un control de temperaturas ineficiente también provoca gastos extra, esto debido a que todo el sistema electromecánico se usa por más horas de las que se debería de usar teóricamente, esto

provoca el envejecimiento que sufren los componentes y equipos del sistema al usarse por más horas de las esperadas.

### **3.2.1. Recolección de datos.**

Para la recolección de datos de las temperaturas de las secadoras se optó por utilizar termocuplas. La necesidad de utilizar estos dispositivos se debe a varias razones, entre estas, que son dispositivos de bajo costo, pero que brindan mediciones confiables y con tolerancias lo suficientemente pequeñas para la aplicación en donde se utilizarán. Debido al sistema en el que se usarán estos dispositivos no deben de ser muy sensibles a las condiciones adversas, como a la contaminación del aire en contacto con estos y deben de ser lo suficientemente largos para poder obtener lecturas desde el centro de los ductos. Estas características hacen de las termocuplas los mejores sensores para el desarrollo del prototipo.



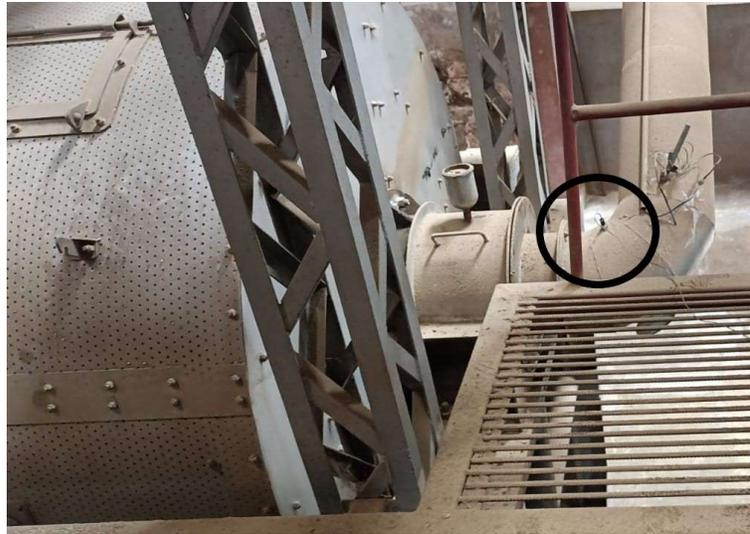
**Figura 32. Termocupla tipo K.**

**Fuente: Suconel**

En este caso se emplearon termocuplas tipo K, con sonda de acero inoxidable. Estos están contruidos de la unión de un cable de Níquel y uno de Cromo o de Aluminio y Níquel, por lo que se les conoce como termocuplas Cromel/Alumel, estos poseen rangos de medición de temperatura bastante amplios, que pueden ir entre  $-200^{\circ}\text{C}$  a  $1300^{\circ}\text{C}$ , con tolerancias mínimas de medición de  $1.5^{\circ}\text{C}$ . Al ser el tubo de acero inoxidable el que se encuentra en contacto directo con el aire caliente que se debe de medir y sus impurezas, se logra aislar a los metales unidos de oxidantes o gases inertes que afectarían las mediciones. Estas termocuplas constan de 2 terminales que generan un diferencial de voltaje, el cual nos indica el valor de la temperatura presente.

Se tomó la decisión de utilizar las termocuplas tipo K debido a ciertos factores, como por ejemplo el factor económico, debido a que respecto al coste de otros tipos de termocuplas como las tipo T o tipo E, es relativamente bajo. También, a pesar de no ser las termocuplas con mediciones más exactas nos ofrecen lecturas lo suficientemente certeras para la aplicación en las que se necesitan y, por último, para trabajarlas con los equipos que utilizarán, son las que más fácil se acoplan al sistema.

Respecto a la instalación de las termocuplas, estas se colocaron en los ductos de aire caliente, lo más cercanas posible a la Guardiola, para lograr medir la temperatura justo en la entrada del equipo. Para esto se perforó el ducto y se le soldó una tuerca en la superficie, esto se realizó de esta manera para lograr introducir la termocupla con una camisa de hule en la parte superior, con el fin de que esta no tenga contacto directo con el metal y pueda afectar las mediciones.



**Figura 33. Posicionamiento de termocuplas en las guardiolas.**

**Fuente: Beneficio de café Santa Rosa, 2022.**

Para lograr establecer la conexión entre los termopares con el Arduino y lograr convertir los valores de la diferencia de voltaje que se produce en estos a valores de temperatura en centígrados se utilizaron los módulos MAX6675, estos módulos permiten y simplifican de gran manera la lectura de los termopares, esto gracias a diferentes librerías que existen y que se instalan directamente con el Arduino.



**Figura 34. Modulo MAX6675.**

**Fuente: SPARKFUN**

Durante el desarrollo de este prototipo se tuvieron algunos contratiempos, por ejemplo, inicialmente el equipo no lograba obtener las lecturas correctas de los termopares a utilizar, a pesar de desarmar y volver a armar la conexión del sistema, por lo que al ser un prototipo de bajo costo y al tener puertos de conexión de bajo amperaje se supuso que no estaba llegando la alimentación suficiente a los módulos. Debido a esto, se realizó una fuente secundaria de alimentación externa, con el fin de lograr alimentar los módulos MAX6675 para su correcto funcionamiento, sin embargo, al realizar de nuevo las pruebas se obtuvo el mismo error. Teniendo esta situación de frente se optó por cambiar todos los cables de conexión (“Jumpers”) por unos nuevos y volver a realizar la conexión, se realizaron de nuevos las pruebas correspondientes logrando de esta vez corregir el error y obteniendo de esta manera una lectura confiable de las temperaturas. Al revisar el cableado anterior se logró identificar que algunos de los cables tenían algún tipo de recubrimiento, por lo que, si funcionaban para la transmisión de corriente, sin embargo, no servían para la transmisión de datos, que es lo que se necesita principalmente en este tipo de sistemas.

### **3.2.2. Equipo para establecer la conexión inalámbrica.**

Para lograr con lo que se define que es un sistema de Mantenimiento Basado en Condición y aplicar este bajo los conceptos del IoT, este equipo de monitoreo de temperaturas debe de lograr comunicarse con otros equipos como lo sería una computadora o un celular inteligente con acceso a internet, con el fin de transmitir los datos de temperaturas por medio de la red para lograr visualizarlos y poder llevar un registro de este monitoreo a distancia.

Para lograr la interconexión de los equipos se intentó inicialmente utilizar un módulo FONIA 808 GSM + GPS para Arduino, como el que se muestra en la figura 35, este módulo se encarga de establecer una conexión vía internet por medio de una tarjeta SIM a cualquier

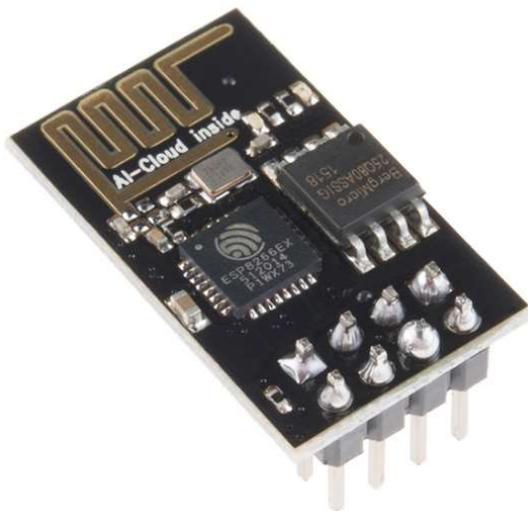
dispositivo que también tenga conexión a internet. Este módulo se seleccionó inicialmente debido a que el lugar en donde se debe de instalar el equipo está alejado de cualquier red de internet inalámbrica accesible. Sin embargo, durante la programación y las pruebas realizadas nunca se logró que este módulo estableciera conexión con la tarjeta SIM, lo que a su vez impedía lograr realizar la interconexión por medio de internet o mensajes SMS a cualquier otro dispositivo.



**Figura 35. Módulo FONA 808.**

**Fuente: Adafruit**

Debido al acontecimiento señalado anteriormente, se tuvo la necesidad de buscar otro medio para lograr la interconexión de los equipos. Para esto se decidió optar por la utilización de un módulo WIFI para Arduino en conjunto a un modem WIFI portátil, con el fin de que este último, le brinde la señal necesaria al equipo para lograr intercomunicar los equipos por medio de internet. Para este caso, se utilizó un módulo ESP8266, fabricado por SPARKFUN.



**Figura 36. Módulo ESP8266.**

**Fuente: SPARKFUN**

Con este módulo Wifi se tuvieron varios problemas durante la programación, esto debido a que no se lograba que el dispositivo conectara con la red Wifi que se le brindaba. Luego de muchas correcciones en el código y la revisión de muchas fuentes bibliográficas se dio con la solución del problema y se logró conectar el equipo a la red.

Este módulo se seleccionó debido a sus características y la relativa facilidad con la que esta funciona con Arduino. Sin embargo, son dispositivos un poco frágiles respecto a la alimentación que se les brinda. Esto debido a que se debe de alimentar con máximo 3.6V para evitar que este se quemé, es por lo que se debió realizar una transformación para una fuente de alimentación externa al Arduino para alimentar el ESP8266.

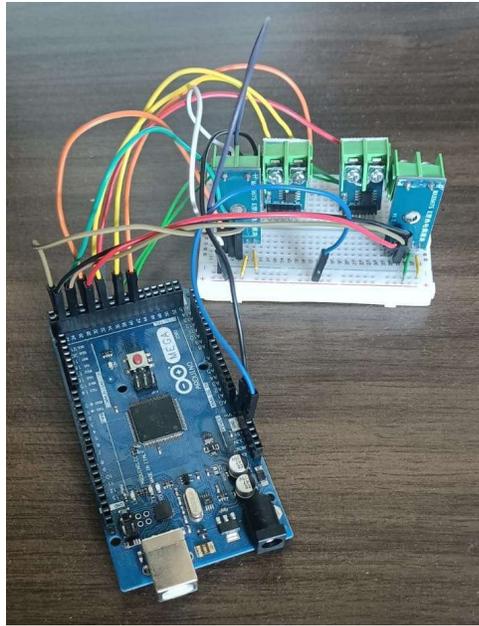


**Figura 37. Alimentador de corriente directa de 3.3V.**

**Fuente: Elaboración propia.**

### **3.2.3. Prototipo del equipo para monitoreo de temperaturas**

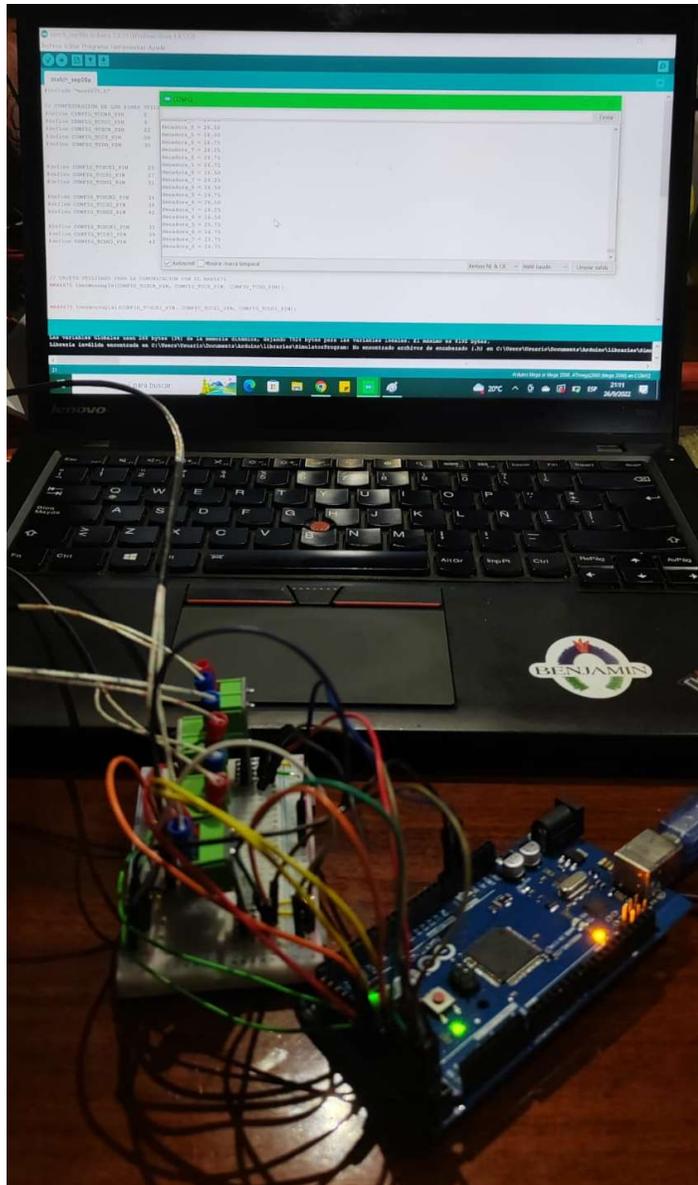
Como se mencionó anteriormente el prototipo del equipo para el monitoreo de la temperatura en las secadoras de café, se ideó inicialmente con el fin de que este equipo lograra realizar la lectura de las temperaturas de entrada en cuatro secadoras, que es la cantidad de secadoras que alimenta un solo horno. Por lo que el equipo de medición inicial desarrollado se veía como se muestra en la figura 38, este contaba con cuatro módulos MAX6675, para la lectura de los 4 termopares y un Arduino MEGA 2560, este con el fin de lograr tener la cantidad de pines suficientes para lograr conectar los módulos faltantes para completar el funcionamiento del prototipo propuesto.



**Figura 38: Prototipo para medición de temperaturas.**

**Fuente: Elaboración propia.**

A la hora de realizar las pruebas de medición de temperaturas con el equipo mencionado anteriormente se logró obtener los resultados esperados, ya que el sistema leía y mostraba las temperaturas correctamente, como se muestra en la figura 39. Una vez que se tenía listo el sistema de medición de temperaturas, se inició con la parte de establecer la conexión a internet por medio del módulo ESP8266, sin embargo, con el Arduino Mega nunca se logró establecer la conexión entre el módulo y el Arduino. Luego de probar con los diferentes pines digitales del Arduino Mega y con diferentes configuraciones, se continuó sin lograr la conexión, por esto se realizó una pequeña prueba de conexión con un Arduino UNO con el fin de descartar que el módulo Wifi estuviera dañado, siendo en este caso una prueba exitosa, logrando que el módulo conectara con el Arduino y estableciendo una conexión inalámbrica capaz de transmitir datos.

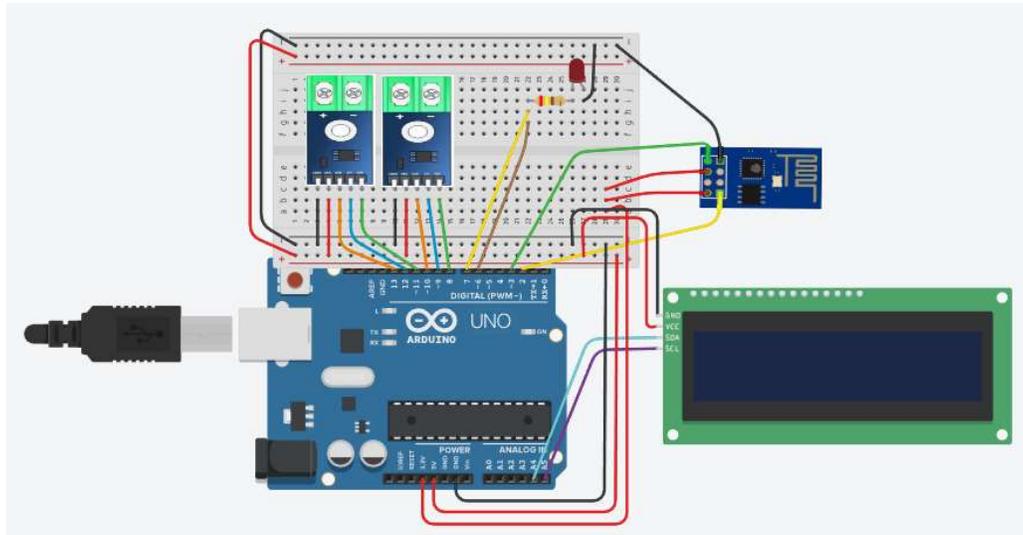


**Figura 39. Lecturas de los cuatro termopares.**

**Fuente: Elaboración propia.**

Debido a esta situación se tuvo que descartar el uso del Arduino Mega y sustituir este por un Arduino uno, sin embargo, debido a este cambio, se tuvo que reducir la cantidad de módulos MAX6675, debido a que el Arduino UNO cuenta solamente con 11 pines digitales y cada módulo MAX6675 necesita de 3 pines de estos para su funcionamiento y a estos hay que agregar los pines que

se necesitan para el módulo ESP8266. Por lo tanto, con el nuevo prototipo desarrollado solo se logró tomar la lectura de 2 termopares, siendo esta una cantidad suficiente para demostrar el funcionamiento del prototipo debido a que el código para el funcionamiento de este solo se tiene que repetir dependiendo de la cantidad de termocuplas a usar. En la figura 40 se muestra el diagrama de conexión del prototipo final utilizado para la medición de temperaturas.



**Figura 40. Diagrama de conexión del prototipo final de monitoreo de temperaturas.**

**Fuente: Elaboración propia.**

Como se muestra en la figura anterior, el prototipo también cuenta con una pantalla LCD, para que se pueda lograr la visualización en tiempo real, de los datos monitoreados en el área de trabajo, esto con el objetivo de que los operadores también tengan acceso a los datos monitoreados y tomen acciones a partir de estos, suplantando el antiguo sistema de control de temperaturas.

En este sistema también se puede observar un LED, el cual haría la función de una alerta visual, debido a que por parte de la empresa se prefiere de esta manera con el fin de no hacer mucho ruido en las noches, por motivo de las personas que viven cerca al Beneficio. Esta alerta se mantiene apagada y se enciende cuando las temperaturas no son aptas para el funcionamiento del sistema.

### 3.3. Prototipo de software propuesto

#### 3.3.1. Arduino

Como se ha mencionado anteriormente, el equipo utilizado para la recepción, conversión y visualización de datos provenientes de los termopares es un Arduino UNO. Este equipo tiene la facilidad de que tiene su propio software de programación, llamado Arduino IDE, este es un entorno de programación que consiste en un editor de código, un compilador, un depurador y un constructor de interfaz gráfica.

Otra de las ventajas que se tiene al utilizar este software de programación y utilizar los módulos hechos directamente para trabajar con este, es que se tiene la accesibilidad a diferentes librerías que facilitan la programación del código, en nuestro caso, se deben de utilizar varias librerías, una para los módulos MAX6675, otra para el módulo ESP8266, las librerías necesarias para la conexión de la pantalla LCD, una librería para establecer la conexión con la plataforma Thingspeak y una última librería para la comunicación serial. Aunque se deban de usar estas librerías, no siempre hay que llamarlas al código para que funcionen, debido a que no todas son externas al sketch, en nuestro caso inicialmente solo se llamaron a dos de estas al código, esto se hace por medio del comando “*include*” como se muestra en la figura 41, una de estas se encarga de incluir a librería que permite a los pines 2 y 3 establecer comunicación serial con el ESP8266 y la otra incluye la librería encargada de las transformación de datos por medio de los módulos MAX6675.

Así mismo, por medio del comando “*define*” se le da un nombre a los pines digitales en donde están conectados nuestros módulos, esto con el fin de poder llamarlos a lo largo del código en donde sea necesario.

```

#include <Wire.h>
#include <LCD.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

LiquidCrystal_I2C lcd (0x27, 2, 1, 0, 4, 5, 6, 7); // DIR, E, RW, RS, D4, D5, D6, D7

#include <SoftwareSerial.h>
#include "max6675.h"
#define RX 2
#define TX 3

#define CONFIG_TCGND_PIN    0
#define CONFIG_TCVCC_PIN   1
#define CONFIG_TCCK_PIN    13
#define CONFIG_TCCS_PIN    12
#define CONFIG_TCDO_PIN    11

#define CONFIG_TCCKL_PIN    8
#define CONFIG_TCCS1_PIN   9
#define CONFIG_TCDO1_PIN   10

```

**Figura 41. Definición de constantes en Arduino IDE.**

**Fuente: Elaboración propia.**

Como se mencionó anteriormente, nuestro código inicia definiendo algunas constantes, luego de esto, por medio de los comandos “*String*” e “*int*” se brinda toda la información que ocupa el módulo ESP8266 para su funcionamiento, como los datos de la red a la cual se va a conectar el dispositivo y la información de hacia dónde se debe de enviar esta información que en nuestro caso se debe de especificar el canal y los “campos” a los cuales será enviada la información.

```

String AP = "Luis";          // AP NOMBRE
String PASS = "86587832"; // AP contraseña
String API = "R2L6EKX9SEV4FTKQ"; // llave generada en thingspeak
String API2= "GIK790FCDKB03HW3";
String HOST = "api.thingspeak.com";
String PORT = "80";
String field = "field1";
String field2="field2";
int countTrueCommand;
int countTimeCommand;
boolean found = false;
int valSensor = 1;
int valSensor1= 1;
SoftwareSerial esp8266(RX,TX);

```

**Figura 42. Configuración del ESP8266 en Arduino IDE.**

**Fuente: Elaboración propia.**

Habiendo definido todas las constantes necesarias para el funcionamiento de los módulos externos se inicia con el “*void setup*”, este se utiliza para establecer cuáles son los pines de entrada y salida, configurar las velocidades y frecuencias y la información necesaria para establecer la compatibilidad de los módulos, en otras palabras, en esta sección es donde se definen las funciones que llevará a cabo el microcontrolador. Esta sección es lo primero que se ejecuta al encender o reiniciar el Arduino UNO y lo hace una única vez.

```

void setup() {

    lcd.setBacklightPin(3, POSITIVE);
    lcd.setBacklight(HIGH); // habilita iluminacion
    lcd.begin(16, 2); // Matriz de pantalla
    lcd.clear();
    pinMode(7, OUTPUT);
    pinMode(6, OUTPUT);
    Serial.begin(9600);
    esp8266.begin(115200);
    sendCommand("AT", 5, "OK");
    sendCommand("AT+CWMODE=1", 5, "OK");
    sendCommand("AT+CWJAP=\"\"+ AP +\"\", \"\"+ PASS +\"\"", 20, "OK");
    pinMode(CONFIG_ICVCC_PIN, OUTPUT); digitalWrite(CONFIG_ICVCC_PIN, HIGH);
    pinMode(CONFIG_ICGND_PIN, OUTPUT); digitalWrite(CONFIG_ICGND_PIN, LOW);
    delay(500);
}

```

**Figura 43. Configuración del “void setup” en Arduino IDE.**

**Fuente: Elaboración propia.**

Como se muestra en la figura 43, nuestro “*void setup*” inicia indicándole al Arduino la conexión con el LCD y la definición de los pines utilizados para la alarma, luego por medio del comando *Serial.begin(9600)* se da el inicio de la comunicación con la computadora y con el módulo Wifi por medio del comando *esp8266.begin(115200)* y por medio de los pines RX y TX, con velocidades de 9600 baudios y 115200 baudios respectivamente.

Seguidamente se utilizan los comandos “*sendCommand*” con el fin de que estos envíen al Arduino una serie de pruebas para verificar que el ESP8266 está realizando una conexión exitosa tanto con el Arduino como con la red por medio de los comandos AT. Por ejemplo, la función del comando “*AT+CWJAP=*” es conectarse a la red de nombre AP con contraseña PASS. La lista de estos comandos y sus funciones pueden verse en el anexo 4.

Luego de esto, se procede a ejecutarse el “*void loop*”, en este ciclo de ejecución las líneas de código se efectúan de manera cíclica, de manera que una vez que llega al final de este, vuelve a leer el “*void loop*” de manera infinita. Es por esto que mientras la placa esté alimentada y como se muestra en la figura 44, el “*loop*” inicia asignándole el valor recibido por el termopar a “*valSensor*”, una vez asignado este valor el comando “*String*” redirige este valor hacia la ubicación en la nube a la cual tenga que reflejarse, en este caso hacia la plataforma Thingspeak, al canal y “*campo*” definidos al inicio del código.

Seguidamente se da el inicio del envío de datos por medio del comando “*AT+CIPMUX=1*”, que es el comando encargado de habilitar la conexión, de esta manera el programa envía el dato recibido en el “*valSensor*” por medio del ESP8266 y se cierra el proceso de envío de datos por medio del comando “*AT+CIPCLOSE=0*”,

```

void loop() {
  valSensor = getSensorData();
  String getData = "GET /update?api_key="+ API +"&"+ field +"="+String(valSensor);
  sendCommand("AT+CIPMUX=1", 5, "OK");
  sendCommand("AT+CIPSTART=0, \"TCP\", \"\"+ HOST +"\", "+ PORT, 15, "OK");
  sendCommand("AT+CIPSEND=0, " +String(getData.length()+4), 4, ">");
  esp8266.println(getData); delay(1000); countTrueCommand++;
  sendCommand("AT+CIPCLOSE=0", 5, "OK");

  Serial.print("Secadora_5 = ");
  Serial.println(thermocouple.readCelsius());
  delay(500);
}

```

**Figura 44. Configuración del “void loop” en Arduino IDE.**

**Fuente: Elaboración propia.**

Como anteriormente se habían definido los nombres para las termocupas que se utilizan, en las últimas líneas del código mostrado anteriormente se puede observar como por medio del comando “*Serial.println*” se lee el valor en grados Celsius, de esta lectura es que el *valSensor* toma el valor de temperatura que se imprime en la nube, mientras que el “*Serial.print*” se usa para imprimir el valor de temperatura en el Monitor Serial de Arduino.

Una vez terminadas estas líneas de código expuestas, se repite un código prácticamente igual, solo que esta vez se cambia la información del termopar del cual se recibirá la información y hacia donde tiene que ir ese dato, por lo tanto, para agregar más termopares solo se repetiría el código las veces necesarias, sin embargo, como se mencionó anteriormente, el procesador del Arduino no tiene la capacidad de procesar tanta información.

Las ultimas líneas del código se pueden observar en el apéndice D, en donde se muestra el código completo, estas se encargan de enviar los comandos y esperar a que los módulos contesten para iniciar el proceso nuevamente.

### **3.3.2. Márgenes de operación.**

En este tipo de prototipos que utilizan el Internet de las cosas que se pueden realizar, requieren de datos dados para que este logre definir los márgenes y límites para activar alarmas que adviertan al personal sobre los márgenes en los cuales se debe de trabajar. El equipo usado actualmente en la planta no cuenta con ningún sistema similar, por lo cual es necesario recurrir a la teoría y a las capacitaciones recibidas por el personal para definir estos márgenes.

Según el Icafé. (2010), teóricamente se maneja que la temperatura de secado se debe de mantener a 60°C constantes durante todo el período de secado de los granos de café, sin embargo, los equipos usados en la mayoría de los Beneficios, como lo son los hornos que trabajan con leña, ventiladores sin variador de velocidad y distribuciones no equitativas de las secadoras, provocan que lograr 60°C parejos en todas las secadoras se vuelva una tarea casi que imposible.

Es por lo que en la práctica se manejan márgenes de operación que permiten desarrollar el proceso con estos equipos sin poner en riesgo la calidad del producto. Empíricamente según el personal de la empresa y de las capacitaciones recibidas por entes como Icafé y Cafinter, se puede manejar un margen en las temperaturas de secado de mínimo 50°C y máximo 65°C para no producir daños en la semilla de café y no retrasar de gran manera el proceso de secado.

Para esto se desarrollan unas líneas de código en el void loop con comandos condicionales, como lo son el if/else, como se muestra en la figura 45, estos se utilizan luego de que el sensor tome la lectura para que mediante estos comandos el prototipo analice si el valor de temperatura se encuentra dentro o fuera del margen y encienda o apague la alarma.

```

if(thermocouple.readCelsius()>=65)
{
    digitalWrite(7,HIGH);
}

else if (thermocouple.readCelsius()<=50)
{
    digitalWrite(7,HIGH);
}

else if (thermocouple.readCelsius()>50)
{
    digitalWrite(7,LOW);
}

else if (thermocouple.readCelsius()<65)
{
    digitalWrite(7,LOW);
}

```

**Figura 45. Programación de la alarma.**

**Fuente: Elaboración propia.**

### **3.3.3. Interfaz Web**

Para la visualización de los datos se optó por utilizar la plataforma Thingspeak, esta es una API (interfaz de programación de aplicaciones) y un software de código abierto para proyectos sobre el Internet de las Cosas que permite visualizar y almacenar datos de sistemas conectados por medio del protocolo HTTP por medio de conexión a internet.

Como se mencionó anteriormente, esta plataforma nos permite visualizar y analizar en tiempo real datos proporcionados por sensores y enviados por microcontroladores como Arduino, Raspberry Pi, BeagleBone Black, entre otros. Para lograr realizar diferentes tipos de análisis de los datos de manera más profunda, se tiene accesibilidad por medio de esta plataforma a herramientas como MATLAB y Simulink.

Para la visualización de los datos se tiene la capacidad de crear diferentes canales, los canales sirven para crear 8 diferentes campos, en donde se visualizarán los datos enviados por medio de la placa utilizada, estos datos pueden provenir de sensores del mismo o diferente tipo, ya que los campos tiene la posibilidad de ser editados respecto a la utilidad para lo que se ocupen, así mismo, desde una placa se pueden enviar datos a diferentes canales, ya sea para enviar diferentes tipos de datos o datos de diferentes equipos.

Para la interfaz utilizada para el sistema de monitoreo, se utilizó una página web de código abierto llamada Thingspeak, esta nos permite crear diferentes interfaces con el fin de tener acceso los datos obtenidos desde cualquier lugar por medio de cualquier dispositivo con conexión a internet. Desde esta página se pueden observar las mediciones en tiempo real, así como la capacidad de poder descargar los datos históricos de temperatura en cada secadora.

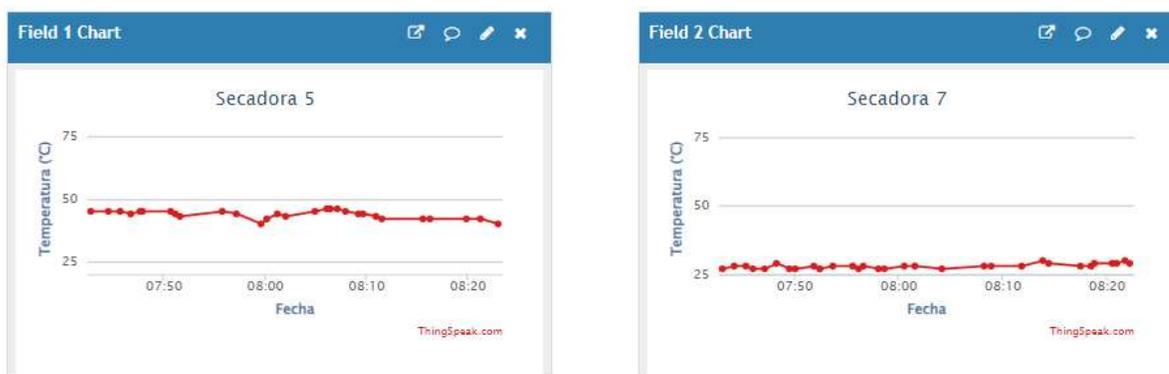
Para la visualización de los datos enviados por medio del Arduino se utiliza una interfaz sencilla en Thingspeak como se muestra en la figura 46. Para esto se crearon dos “campos” llamados Secadora 5 y Secadora 7, en estos se pueden observar los valores de temperatura en tiempo real.



**Figura 46. Interfaz de visualización de datos en tiempo real.**

**Fuente: Elaboración propia.**

A su vez, en la misma interfaz se tienen 2 cuadros más en donde se pueden visualizar los datos a través del tiempo por medio de una gráfica que se va actualizando en lapsos de aproximadamente 30 segundos. Estos nos ayudan a analizar el comportamiento de las temperaturas durante las últimas horas, debido a que después de mucho tiempo la gráfica almacena todos los puntos de medición, haciendo que sea muy difícil entenderla. Para solucionar esto, se va a la opción de limpiar el canal, lo que hace que los puntos de la gráfica se borren, y esta vuelva a iniciar.



**Figura 47. Interfaz en Thingspeak.**

**Fuente: Elaboración propia.**

Como se mencionó anteriormente, esta plataforma también nos permite tener acceso a los datos históricos de temperaturas y nos brinda la posibilidad de descargar estos por medio de archivos CSV, con el fin de exportarlos a un archivo Excel, como se muestra en la figura 48 y que el personal pueda realizar diferentes tipos de análisis con estos datos.

created_at	entry_id	Secadora 5	Secadora 7
2022-10-20 13:19:11 UTC	8	42	
2022-10-20 13:19:49 UTC	9		26
2022-10-20 13:20:27 UTC	10		27
2022-10-20 13:20:47 UTC	11	43	
2022-10-20 13:21:17 UTC	12		28
2022-10-20 13:21:39 UTC	13		28
2022-10-20 13:21:56 UTC	14	44	
2022-10-20 13:22:42 UTC	15		26
2022-10-20 13:23:43 UTC	16	42	
2022-10-20 13:24:01 UTC	17		27
2022-10-20 13:24:36 UTC	18		27
2022-10-20 13:25:35 UTC	19		27
2022-10-20 13:26:00 UTC	20	45	
2022-10-20 13:26:40 UTC	21		26
2022-10-20 13:27:29 UTC	22		26
2022-10-20 13:28:22 UTC	23	46	
2022-10-20 13:28:37 UTC	24		27
2022-10-20 13:29:11 UTC	25		27
2022-10-20 13:30:54 UTC	26		25
2022-10-20 13:32:26 UTC	27		28
2022-10-20 13:33:35 UTC	28	43	
2022-10-20 13:33:53 UTC	29		29

**Figura 48. Datos exportados a Excel.**

**Fuente: Elaboración propia.**

Como se puede observar en la figura anterior, debido a factores como las variaciones en la velocidad en la conexión a internet, a la forma en que la placa lee el código y a la capacidad de procesamiento de esta, el envío de datos a Thingspeak se ve afectado de 2 diferentes maneras. La primera de estas es que el prototipo no tiene la capacidad de enviar 2 datos a la misma vez, debido a que este, primero recibe un dato, lo envía y realiza el mismo proceso con el siguiente dato, de esta manera y como se observa en la figura 48 los datos van intercalándose.

Como segundo problema se tiene la capacidad del procesador y la velocidad de internet, estos afectan la velocidad con la que se envían los datos, ya que el programa está hecho para recibir una lectura cada 15 segundos, pero como se puede observar las lecturas tienen un margen de entre 30 segundos a 1 minuto y medio, sin embargo, aunque no son datos recibidos en un mismo margen de tiempo, se mantienen en un margen aceptable para poder realizar distintos tipos de análisis con estos datos. También, como se muestra en la figura 48 los datos no son intercalados constantemente, sino que tiene algunas variaciones en la cantidad de datos que se envían de cada secadora, esto es principalmente debido a la capacidad de procesamiento del Arduino, ya que al tener los diferentes módulos conectados y el proceso de envío de datos, se queda un poco corto de capacidad.

### **3.4. Análisis financiero.**

Con el fin de realizar un análisis financiero donde se demuestre el beneficio de la implementación del sistema de control de temperaturas desarrollado, se pretendía realizar el Análisis de Costo de Ciclo de Vida (ACCV) antes y después de la implementación del prototipo. Sin embargo, se debe de tener en cuenta que para realizar un análisis de costo de ciclo de vida correcto se debe determinar el año de instalación de los equipos y el costo de adquisición de estos, cosa que en nuestro caso no se tienen registro alguno de estos datos, esto debido a la antigüedad de los equipos, ya que el Beneficio tienen aproximadamente 50 años de haberse instalado y los únicos equipos que se han cambiado son algunos motores, de los cuales tampoco se maneja ningún registro de su costo de adquisición.

Por esto y en congruencia a lo mencionado en la norma UNE-NE-60300-3-3 se procedió a realizar el análisis tomando en consideración solamente los costos de operación y los costos de mantenimiento del equipo con el sistema de control de temperaturas convencional y del

sistema con el control de temperatura propuesto, tomando en cuenta también el costo del prototipo. De este modo se realizó el análisis para 2 de las secadoras, que es la capacidad de secadoras que nos permite monitorear el prototipo realizado.

#### **3.4.1. Costos de operación.**

Se inició tomando primeramente los costos de operación del sistema de secado los cuales incluyen los insumos para el funcionamiento del sistema y el personal necesario para su operación. Al ser un proceso relativamente sencillo, en la empresa se cuenta solamente con un operador para el horario diurno y un operador para el horario nocturno, estos se encargan de controlar los motores y los ventiladores de las guardiolas, cargar y descargar el café de las guardiolas y atizar con leña a los hornos que suministran calor al sistema.

Por otra parte, como insumos para el funcionamiento del sistema, se tiene la leña y la corriente eléctrica, la leña no representa un gasto importante para la empresa, debido a que una vez al año, se contrata personal externo para talar algunos árboles dentro de la misma finca para convertirlos en leña para los hornos, este trabajo tiene un costo de aproximadamente \$400 000, tomando en cuenta el costo del trabajo y el costo del transporte de la leña hasta el área de almacenamiento. Sin embargo, al ser solo 2 secadoras las analizadas se obtiene un costo de \$72 727.27 respecto a la leña.

Por otro lado, el suministro de energía si representa un costo importante para el beneficio, ya que para una empresa con este tipo de equipos el consumo de corriente se divide en tres periodos, lo que es el valle, el pico y el horario nocturno, teniendo diferentes precios por KW/H cada uno, siendo el pico el más costoso.

Como este análisis se realiza solamente para 2 secadoras, se realiza un muestreo de la cantidad de horas exactas que dura cada secadora en un proceso de secado, en los apéndices F, G, H, I se puede ver que cada proceso dura entre 34 a 39 horas, por lo tanto, se usó un promedio de 36 horas de funcionamiento para los equipos y para el costo de la electricidad se utilizó un promedio de los valores suministrados por el Instituto Costarricense de Electricidad. Dividendo cada proceso de secado en los diferentes horarios en los que se trabajan los equipos, se obtuvo que en promedio se trabaja durante 17 horas en el horario valle con un costo de ₡859.99 la hora de trabajo de los equipos por secadora, en la hora pico se maneja un promedio de 2 horas por un precio de ₡1 233.72 y el horario nocturno se maneja un promedio de 17 horas con un costo de ₡514.92, generando un costo de ₡25 274.99 por secadora para cada proceso de secado. Para cada secadora se estimó un promedio de 50 tiempos de secado al año para cada secadora, debido a que estas trabajan desde inicios del mes de julio hasta finales de febrero o principios de marzo, por lo tanto, al estar utilizando 2 secadoras para el estudio se tienen 100 tiempos de secado aproximadamente, dando como resultado un costo anual de ₡2 527 499,00.

Como se mencionó anteriormente los equipos se trabajan tanto en horario diurno como en horario nocturno, por lo tanto, siempre se tiene el personal contratado en la empresa, sin embargo, como las secadoras no trabajan parejo, durante los tiempos de paro de las secadoras, este personal realiza otras tareas de otros procesos, porque para este estudio se tomaron solamente las horas en que estos trabajan en los procesos de secado de café, que serían las 36 horas promediadas de funcionamiento, también el horario nocturno se paga igual al horario diurno, con un precio de ₡1 359.39, para un costo total de ₡4 757 865,00 anuales como se muestra en la tabla 9.

**Tabla 9. Costos de operación anuales**

Costos de operación anuales	
Rubro	Monto
Energia electrica	¢2 527 499,00
Horas operador	¢4 757 865,00
Leña	¢72 727,27
<b>Total</b>	<b>¢7 358 091,27</b>

Fuente: Datos obtenidos del Departamento Contable y del de Mantenimiento.

Al implementar un sistema como el propuesto lo que se pretende es reducir la cantidad de horas en el tiempo de secado para cada Guardiola, obteniendo un promedio de 28 horas de secado, debido a que de esta manera nos aseguramos de que las temperaturas tengan un margen de 50°C a 65°C de manera constante durante todo el proceso.

Debido a lo mencionado anteriormente los valores de costo por energía eléctrica y el costo por las horas de los operadores disminuirían en aproximadamente un 17% del costo sin el prototipo. Generando en este caso un ahorro de aproximadamente ¢1 380 431,00 anualmente por dos secadoras. Esta disminución se puede ver en la tabla 10, en la cual se ve la disminución de estos dos rubros, sin embargo, como la empresa no lleva controles minuciosos sobre los gastos e inversiones no se puede determinar en cuánto disminuiría el consumo de leña en el sistema por la reducción de horas.

**Tabla 10. Costos de operación anuales con prototipo.**

Costos de operación anuales	
Rubro	Monto
Energia electrica	¢2 098 641,00
Horas operador	¢3 806 292,00
Leña	¢72 727,27
<b>Total</b>	<b>¢5 977 660,27</b>

Fuente: Datos obtenidos del Departamento Contable y del de Mantenimiento.

En estos no se incluyen costes como la formación inicial de personal, la formación continua, mejoras o documentación, como según se menciona en la norma UNE, esto debido a el proceso se ha mantenido en operación con los mismos equipos, bajo los mismos parámetros y con el mismo operador durante muchos años.

### 3.4.2. Costos de Mantenimiento

Aunque debido a que los costos por Mantenimiento son un poco difíciles de calcular, se puede calcular el costo promedio que genera el mantenimiento preventivo anual al sistema de secado, el cual se podrá observar que es relativamente bajo. En esta sección se analizaron solamente las tareas que se realizan de manera fija al menos una vez al año y no son tareas de mantenimiento correctivo como se puede observar en la tabla 11.

Dentro de estas se pueden mencionar el cambio de aceite de las reductoras de las Guardiolas, esta tarea se realiza una vez al año y se ocupa de 2 galones de Aceite Industrial 220, con un precio por cubeta de aproximadamente ₡45 000, lo que equivaldría a un costo de ₡18 000 para cada guardiola, más aproximadamente 2 horas de trabajo del personal de mantenimiento dando un resultado de ₡41 437,56 como se muestra en la tabla 11.

**Tabla 11. Costos de Mantenimiento.**

Costos de mantenimiento anuales	
Rubro	Monto
Cambio de aceite motores	₡41 437,56
Rutinas de mantenimiento	₡76 125,84
Limpieza catalinas	₡35 875,12
Balanceo turbinas	₡11 359,39
Limpieza ductos	₡2 718,78
Otras tareas de Mant.	₡16 312,68
<b>Total</b>	<b>₡183 829,37</b>

A parte de estas tareas de mantenimiento, también se genera mucho mantenimiento de tipo correctivo, pero debido a que en la empresa se maneja de este modo y no se tienen órdenes de trabajo de ninguna tarea realizada, no se pueden obtener costos ni de la mano de obra ni de los repuestos utilizados.

Por lo tanto, al implementar un sistema de control como el propuesto, se reducen la cantidad de horas de trabajo de los equipos, lo que teóricamente produciría una disminución en los costos de mantenimiento de los equipos al trabajar menos, sin embargo, esta disminución en estos costos no se puede ejemplificar debido a la falta de órdenes de trabajo o control de costos en el área de mantenimiento.

### **3.4.3. Costo del prototipo.**

Al ser solamente un prototipo el costo de los equipos es relativamente bajo en comparación a equipos usados para este tipo de aplicaciones industriales. Sin embargo, es un equipo que puede funcionar de buena manera durante un cierto periodo de tiempo dependiendo de las condiciones del lugar de operación.

En la determinación del costo de prototipo solamente se tomó en cuentas los materiales justos utilizados en el prototipo final como se muestra en la tabla 12, en este análisis no se tomaron el costo de los equipos que se compraron y por una u otra razón no se utilizaron o dejaron de funcionar, como se mencionó anteriormente en el documento, tampoco se tomó en cuenta el costo del factor humano dentro de este proceso de desarrollo.

**Tabla 12. Costo del prototipo.**

Costo del prototipo	
Componentes	Precio
Arduino UNO	¢11 139,44
Modulo MAX6675	¢19 796,56
Modulo ESP8266	¢5 554,21
LM1117	¢1 365,28
Transformador 120/9V	¢5 000,00
Transformador 120/12V	¢10 000,00
Capacitores 10uF	¢372,34
Jumpers	¢1 241,16
Total	¢54 468,99

Fuente: Datos obtenidos de Micro JPM.

Al ser un prototipo de bajo coste, se requiere una inversión relativamente pequeña como se muestra en la tabla 12, para el mantenimiento de este equipo se recomienda realizar un mantenimiento 1 vez al mes por medio de un técnico, debido a la condiciones del lugar, este tiene un salario mínimo de ¢1470.22 por hora según el Ministerio de trabajo, suponiendo que se dura un par de horas en realizar el mantenimiento sería un costo total anual de ¢35 285.28 además, se debería de mantener un valor de ¢40 000 para repuestos, ya sea del mismo microcontrolador o de los módulos mencionados.

Según el Sistema Costarricense de Información Jurídica (1998), para los equipos utilizados en ingeniería se debe de utilizar un porcentaje anual de depreciación de 10%, por lo que, al realizar un análisis para el prototipo propuesto a lo largo de 3 años, se obtendría un valor de desecho de ¢38 926,26

**Tabla 13. Valor de desecho del prototipo en un periodo de 3 años.**

Costo inicial		₡129 754,21	
Porcentaje de depreciación		10	
vida util		3	
Depreciación anual		₡12 975,42	
Fin de año	Depreciación anual	Depreciación acumulada	Valor en libros
0			₡129 754,21
1	₡12 975,42	₡12 975,42	₡116 778,79
2	₡12 975,42	₡25 950,84	₡90 827,95
3	₡12 975,42	₡38 926,26	₡51 901,68
Valor de desecho	₡38 926,26		

Fuente: Elaboración propia.

#### 3.4.4. Análisis

Para demostrar de mejor manera esta disminución de costos se calcula el costo de ciclo de vida por medio de un análisis del valor neto actual (VAN) de dos secadoras con y sin el prototipo, tabla 13 y tabla 14 respectivamente. De esta manera se realiza un análisis a lo largo de un periodo de 3 años, utilizando una tasa de descuento que según MIDEPLAN (2019) en el último análisis realizado es de 8,31%. Como se podrá observar en las tablas antes mencionadas, el costo de ciclo de vida es mayor para el proceso sin un control de la variable crítica como el propuesto.

**Tabla 14. Flujo de costos de efectivo para el sistema de secado sin implementación del prototipo.**

Año	0	1	2	3
TSD	0,0831	0,0831	0,0831	0,0831
Inversión del prototipo	₡774 468,99			
Costos de operación		₡5 977 660,27	₡5 977 660,27	₡5 977 660,27
Costos de Mantenimiento		₡183 829,37	₡183 829,37	₡183 829,37
Mantenimiento prototipo		₡75 285,28	₡75 285,28	₡75 285,28
Valor de desecho				₡38 926,26
Flujo de caja	-₡774 468,99	₡6 236 774,92	₡6 236 774,92	₡6 197 848,66
Valor presente	-₡774 468,99	₡5 758 263,24	₡5 316 465,00	₡4 877 927,03
VAN	₡15 178 186,29			

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 15. Flujo de costos de efectivo para el sistema de secado con implementación del prototipo.**

Año	0	1	2	3
TSD	0,0831	0,0831	0,0831	0,0831
Inversión del prototipo	₡0,00			
Costos de operación		₡7 358 091,27	₡7 358 091,27	₡7 358 091,27
Costos de Mantenimiento		₡183 829,37	₡183 829,37	₡183 829,37
Flujo de caja		₡7 541 920,64	₡7 541 920,64	₡7 541 920,64
Valor presente		₡6 963 272,68	₡6 429 021,03	₡5 935 759,42
VAN	₡19 328 053,14			

Fuente: Elaboración propia.

#### 4. Conclusiones

- Se determinó de acuerdo con los análisis realizados respecto a la afectación en el tiempo de duración y calidad del producto para el proceso de secado mecánico de café, que el sistema más crítico en el cual se debe de actuar es el control de temperaturas.
- Se desarrolló un prototipo de un sistema de monitoreo de temperaturas bajo la definición de Mantenimiento basado en condición con base al concepto del Internet de las cosas, utilizando conexión inalámbrica vía internet para el envío de datos. Se utilizaron 2 módulos MAX6675, un módulo ESP8266, 1 Arduino y un LDC 16x2 para la visualización en tiempo real de los datos.
- Se desarrolló un prototipo del software encargado de monitorear las temperaturas de las secadoras mecánicas de café capaz de mostrar estas temperaturas en tiempo real a los operadores del proceso y de producir una alerta cuando las temperaturas se salgan del margen establecido. Además, se logró su visualización a distancia por medio de una página web, en donde se muestra el monitoreo y se puede descargar el historial de las lecturas en formato CSV.
- Se determinó que, según el análisis financiero realizado, al implementar un sistema como el prototipo propuesto, pero a nivel industrial, en el cual se incluyan todas las secadoras, solo en el primer año de funcionamiento se tendría un ahorro de ₡7 230 056,62, monto del cual habría que descontar el costo de la implementación de un sistema industrial de monitoreo.

## **5. Recomendaciones**

- Cuando se realicen tareas de mantenimiento que incluyan el movimiento de los ductos de aire a la entrada de las Guardiolas, se debe de hacer con cuidado, esto debido a que si se realiza de manera apresurada o brusca se pueden dañar los termopares instalados en estos puntos o las conexiones de estos.
- Se recomienda cambiar los equipos propuestos en el prototipo de monitoreo de temperaturas por equipos de nivel industrial más precisos y de mayor calidad.
- Se recomienda aumentar el personal de turno relacionado con las tareas de control de temperaturas en el proceso de secado de café, con el fin de evitar cambios bruscos de durante el proceso.
- Llevar un control detallado por medio de órdenes de trabajo o algún otro sistema de los mantenimientos preventivos y correctivos que se realizan a nivel general en todo el proceso.

## 6. Bibliografía

- 1- Icafé. (2022, enero 25). Cosecha de Café 2021–2022 de Costa Rica sube \$40.45 por quintal en precio FOB. Recuperado 2022, de <http://www.icafe.cr/cosecha-de-cafe-2021-2022-de-costa-rica-sube-40-45-por-quintal-en-precio-fob/>
- 2- Icafé. (2021, 5 noviembre). Más del 70% del café de Costa Rica se produce bajo acciones de adaptación y mitigación de gases de efecto invernadero. ICAFÉ. Recuperado 2022, de <http://www.icafe.cr/mas-del-70-del-cafe-de-costa-rica-se-produce-bajo-acciones-de-adaptacion-y-mitigacion-de-gases-de-efecto-invernadero/>
- 3- Icafé. (2021). Informe sobre la Actividad Cafetalera de Costa Rica. [http://www.icafe.cr/wp-content/uploads/informacion\\_mercado/informes\\_actividad/actual/Informe%20Actividad%20Cafetalera.pdf](http://www.icafe.cr/wp-content/uploads/informacion_mercado/informes_actividad/actual/Informe%20Actividad%20Cafetalera.pdf)
- 4- BMP. (2019). Ecom Agroindustrial Corp. Ltd: «Café amigable con la biodiversidad» |. Biodiversity Partnership Mesoamérica. Recuperado 2022, de <https://www.bpmesoamerica.org/partner-view/ecom-agroindustrial-corp-ltd/>
- 5- Federación nacional de cafeteros de Colombia. (2017). Optimización operacional de secadores mecánicos para café pergamino. Cenicafé. <https://www.cenicafe.org/es/publications/librosecado.pdf>
- 6- Orosco J, Patiño F J, Quintero M J and Rodríguez L 2018: Residual biomass gasification on a small scale and its thermal utilization for coffee drying. Livestock Research for Rural Development. Volume 30, Article #5. Retrieved May 4, 2022, from <http://www.lrrd.org/lrrd30/1/jair30005.html>
- 7- Beneficio Santa Rosa. (2022). Beneficio Santa Rosa. Valley. Recuperado 2022, de <http://valley.co.cr/beneficio.html>

- 8- ICAFÉ. (2022). Acerca del ICAFÉ. Recuperado 2022, de <http://www.icafe.cr/icafe/acerca-del-icafe/>
- 9- Icafé. (2013). Criterios para la Aprobación de Precios para la Inscripción de Contratos de Compraventa de Café. [http://www.icafe.cr/wp-content/uploads/evaluacion\\_precios/Criterios%20para%20la%20Aprobacion%20de%20Contratos.pdf](http://www.icafe.cr/wp-content/uploads/evaluacion_precios/Criterios%20para%20la%20Aprobacion%20de%20Contratos.pdf)
- 10- Icafé. (2017). Unidad de Control de Calidad Centro de Investigaciones en Café. [http://www.icafe.cr/wp-content/uploads/circulares\\_sector/circulares\\_2017/2017-02-10%20%5BCircular%202529%2C%20Adjunto%5D.pdf](http://www.icafe.cr/wp-content/uploads/circulares_sector/circulares_2017/2017-02-10%20%5BCircular%202529%2C%20Adjunto%5D.pdf)
- 11- INEC. (2019). Estadísticas demográficas. 2018. <https://www.inec.go.cr/poblacion/temas-especiales-de-poblacion>
- 12- MIDEPLAN. (2016). Plan cantonal de desarrollo humano local (PCDHL) 2016–2026. Municipalidad de Turrialba.
- 13- Vogel, B., & Varshney, R. (2018). Towards Designing Open and Secure IoT Systems: Insights for Practitioners. Association for Computing Machinery.
- 14- Krishna, A., le Pallec, M., Mateescu, R., Noirie, L., & Salaun, G. (2019). IoT Composer: Composition and Deployment of IoT Applications. IEEE/ACM. [https://dl-acm-org.ezproxy.itcr.ac.cr/doi/pdf/10.1109/ICSE-Companion.2019.00028](https://dl.acm-org.ezproxy.itcr.ac.cr/doi/pdf/10.1109/ICSE-Companion.2019.00028)
- 15- Icafé. (2010). Manual de buenas prácticas de manufactura en el Beneficio La Pira. MAG. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/Q02-5836.pdf>
- 16- Compañía Santa Rosa Limitada. (2022). Precio de venta del café.
- 17- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2000). Beneficie correctamente su café y conserve la calidad de su bebida. Cenicafé. <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/561/1/avt0276.pdf>

- 18- Cenicafé & Federación Nacional de Cafeteros Colombianos. (2017). Optimización operacional de secadores mecánicos para café pergamino [Libro electrónico]. Cenicafé. Recuperado 13 de mayo de 2022, de <https://www.cenicafe.org/es/publications/librosecado.pdf>
- 19- Asociación Española de Normalización. (2018). Primera Norma internacional ISO/IEC para Internet de las cosas. UNE. <https://www.une.org/salainformaciondocumentos/NP%20Primera%20Norma%20ISO%20de%20IoT%20nov-18.pdf>
- 20- Instituto Tecnológico de Aguascalientes. (2017). El Entorno de la Industria 4.0: Implicaciones y Perspectivas Futuras. Conciencia Tecnológica.
- 21- Moubray, J. (1997). Mantenimiento centrado en Confiabilidad (2.<sup>a</sup> ed.). Aladon Ltd.
- 22- Parpala, R. C., & Jacob, R. (2017). Application of IoT concept on predictive maintenance of industrial equipment. MATEC Web of Conferences.
- 23- Maté, C. (2014). Big data. Un nuevo paradigma de análisis de datos. Anales de mecánica y electricidad. <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/bitstream/handle/11531/4873/IIT-14-153A.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- 24- Montilla, C. A. (2019). Mantenimiento Industrial y su Administración. Universidad Tecnológica de Pereira.
- 25- Vega, J. A. (1999). Las Siete Herramientas Básicas de la Calidad. Tecnológico de Monterrey.
- 26- Gutiérrez, H., & Salazar, R. (2009). CONTROL ESTADÍSTICO DE CALIDAD Y SEIS SIGMA (2.<sup>a</sup> ed.). McGraw-Hill.

- 27- Carmona, A. (2020, 6 mayo). ¿Qué es un beneficiado de un café? Altosanto Café. Recuperado 2022, de <https://www.altosanto.mx/que-es-un-beneficiado-de-un-cafe/>
- 28- Arduino Reference - Arduino Reference. (s. f.). Recuperado 12 de octubre de 2022, de <https://www.arduino.cc/reference/en/>
- 29- Teoría de Termopares. (s. f.). Fluke Process Instruments. Recuperado 15 de septiembre de 2022, de <https://www.flukeprocessinstruments.com/es/service-and-support/knowledge-center/thermal-profiling-technology/thermocouple-theory>
- 30- What is Arduino? (s. f.). Arduino. Recuperado 15 de septiembre de 2022, de <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction/>
- 31- Samaniego, J. F. (2022). ISO/IEC 30141 abrió el camino: así es la nueva familia de estándares para internet de las cosas. Orange. <https://blog.orange.es/innovacion/estandar-iot/>
- 32- Temperatura, C. Y. M. S. T. A. de. (2020, 7 diciembre). Termopar Tipo K. TC Medida y Control de Temperatura, S.A. Recuperado 4 de octubre de 2022, de <https://www.tc-sa.es/termopares/tipo-k-termopar.html>
- 33- Del Valle Hernández, L. (2022, 13 enero). ESP8266 todo lo que necesitas saber del módulo WiFi para Arduino. Programar fácil con Arduino. Recuperado 7 de octubre de 2022, de <https://programarfácil.com/podcast/esp8266-wifi-coste-arduino/>
- 34- Perú, M. N.-. (s. f.). Tutorial ESP8266 Parte I. Naylamp Mechatronics - Perú. Recuperado 13 de octubre de 2022, de [https://naylampmechatronics.com/blog/21\\_tutorial-esp8266-parte-i.html](https://naylampmechatronics.com/blog/21_tutorial-esp8266-parte-i.html)
- 35- Espressif Systems. (2022). ESP8266EX Datasheet. Recuperado 7 de octubre de 2022, de [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf)

- 36- Sotelo, F., L, H. & E, M. (2020). Design and Implementation of an Automatic Coffee Dryer. EEET '20, 1.  
<https://dl-acm.org.ezproxy.itcr.ac.cr/doi/10.1145/3429536.3429548>
- 37- ISO & IEC. (2020). ISO/IEC 30166 Internet of things- Industrial IoT (1.<sup>a</sup> ed.). ISO/IEC.
- 38- Geek Factory. (2022, 10 octubre). MAX6675 módulo interfaz para termopar tipo K. Recuperado 12 de octubre de 2022, de <https://www.geekfactory.mx/tienda/modulos/max6675-modulo-interfaz-para-termopar-tipo-k/>
- 39- MAXIM. (2002). Cold-Junction-Compensated K-Thermocoupleto-Digital Converter (0°C to +1024°C). Maxim Integrated Products.
- 40- Adafruit learning system. (2019). Adafruit FONA 808 Cellular + GPS Shield for Arduino. Recuperado 6 de septiembre de 2022, de <https://www.mouser.co.cr/datasheet/2/737/adafruit-fona-808-cellular-plus-gps-shield-for-ard-765048.pdf>
- 41- Más material para IoT: El FONA 808 de Adafruit. (2018, 17 mayo). COSTARICAMAKERS.com. Recuperado 12 de octubre de 2022, de <https://costaricamakers.com/mas-material-para-iot-el-fona-808-de-adafruit/>
- 42- FONA808 + ARDUINO UNO – FASE 1: Conexión, Comandos AT y Mensajes SMS. (2018, 19 mayo). COSTARICAMAKERS.com. Recuperado 12 de octubre de 2022, de <https://costaricamakers.com/conectando-un-fona808-con-un-arduino-uno/>
- 43- FONA 808 + ARDUINO UNO – FASE 2 (GPS e Internet). (2018, 23 mayo). COSTARICAMAKERS.com. Recuperado 12 de octubre de 2022, de <https://costaricamakers.com/fona-808-arduino-uno-fase-2-gps-e-internet/>

- 44- Adafruit FONA 808 Cellular + GPS Shield for Arduino. (2015, 17 julio). Adafruit Learning System. Recuperado 12 de octubre de 2022, de <https://learn.adafruit.com/adafruit-fona-808-cellular-plus-gps-shield-for-arduino?view=all>
- 45- Hernández, L. D. V. (2022, 13 enero). ESP8266 todo lo que necesitas saber del módulo Wifi para Arduino. Programar fácil con Arduino. Recuperado 12 de octubre de 2022, de <https://programarfácil.com/podcast/esp8266-wifi-coste-arduino/>
- 46- Conectar Arduino por Wifi con el módulo ESP8266 ESP01. (2018, 24 marzo). Luis Llamas. Recuperado 1 de octubre de 2022, de <https://www.luisllamas.es/arduino-wifi-esp8266-esp01/>
- 47- M.N. (s. f.). Arduino y ESP8266 como cliente web. Naylamp Mechatronics. Recuperado 2 de octubre de 2022, de [https://naylampmechatronics.com/blog/54\\_arduino-y-esp8266-como-cliente-web.html](https://naylampmechatronics.com/blog/54_arduino-y-esp8266-como-cliente-web.html)
- 48- Enviar datos de ESP8266 a Thingspeak. (2021, 27 febrero). Stack Overflow en español. Recuperado 2 de octubre de 2022, de <https://es.stackoverflow.com/questions/431429/enviar-datos-de-esp8266-a-thingspeak>
- 49- Thingspeak. (2021, 17 febrero). Aprendiendo Arduino. Recuperado 2 de octubre de 2022, de <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/tag/thingspeak/>
- 50- Thingspeak. (2019, 28 junio). Aprendiendo Arduino. Recuperado 12 de octubre de 2022, de <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2018/11/23/thingspeak/>
- 51- Scharler, H. (2022, 17 enero). Measure Wi-Fi Signal Levels with the ESP8266 and ThingSpeak. About Things | A Hans Scharler Blog. Recuperado 12 de octubre de

- 2022, de <https://nothans.com/measure-wi-fi-signal-levels-with-the-esp8266-and-thingspeak>
- 52- Example List - MATLAB & Simulink - MathWorks España. (s. f.). Recuperado 12 de octubre de 2022, de <https://es.mathworks.com/help/thingspeak/examples.html?category=write-data>
- 53- GitHub - mathworks/thingspeak-arduino: ThingSpeak Communication Library for Arduino, ESP8266 and ESP32. (s. f.). GitHub. Recuperado 12 de octubre de 2022, de <https://github.com/mathworks/thingspeak-arduino>
- 54- Getting Started with Arduino IDE 2.0. (s. f.). Arduino Documentation. Recuperado 13 de octubre de 2022, de <https://docs.arduino.cc/software/ide-v2/tutorials/getting-started-ide-v2>
- 55- IDE Arduino. (2016, 11 diciembre). Aprendiendo Arduino. Recuperado 6 de octubre de 2022, de <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2016/12/11/ide-arduino/>
- 56- Parra, C. & Crespo, A. (2019, noviembre). Técnicas de análisis de coste de ciclo de vida, utilizadas para justificar la aplicación de herramientas de optimización de mantenimiento, propuestas por la industria 4.0. caso de estudio: sector Oil and Gas. (1.<sup>a</sup> ed.). University of Seville, School of Engineering.
- 57- Woodward, D. (1997). Life cycle costing--theory, information acquisition and application (Vol. 15). Elsevier Science Ltd and IPMA.
- 58- Normal Española. (2009). Gestión de confiabilidad. Cálculo del coste de ciclo de vida. UNE-EN 60300, 2.

## 7. Apéndices

### A) AMFE para el subproceso de transporte de café.

Análisis de efectos y modos de falla (AMFE)										
Empresa: Compañía Santa Rosa Limitada			Proceso: Transporte de café				Fecha:			
Sistema: Secado de Café			Elaborado por: Luis Eduardo Sánchez Madriz							
Función del proceso	Equipo	Modos de fallo	Efecto	S	Causa	O	Controles	D	NPR	Acciones
1-Transportar 21 kg/min de café pergamino a una velocidad constante de x m/s desde las preseccadoras hasta las Guardiolas.	Motoreductor	Daño en los rodamientos	Se detiene el motor y por lo tanto el proceso. Tiempo de paro para reemplazar el motor es de 3 horas. Se procede con la reparación en el taller	7	Deterioro del lubricante. Envejecimiento. Desalineamiento mecánico.	3	El personal de mantenimiento hace rondas de supervisión cuando lo cree necesario o el operador informa.	7	147	Mantenimiento preventivo y rutinas de supervisión
		Devanados del estator quemados	Se detiene el motor y por lo tanto el proceso. Tiempo de paro para reemplazar el motor es de 3 horas. Se procede con la reparación en el taller	8	Bajo nivel de aislamiento. Contaminación. Mal funcionamiento de protecciones.	2	No existe control.	9	144	Mantenimiento preventivo y rutinas de supervisión
		Falta o deterioro del lubricante	Se debe de detener el proceso para reponer el faltante de lubricante o sustituirlo según corresponda. Tiempo de paro para llevar a cabo la tarea es de 2 horas.	7	Desgaste de sellos. Uso de lubricantes diferentes al especificado. Falta de mantenimiento	3	El personal de mantenimiento hace rondas de supervisión cuando lo cree necesario o el operador informa.	7	147	Mantenimiento preventivo y rutinas de supervisión
		Falla en el sistema mecánico de transmisión de potencia.	Se debe de detener el proceso para realizar el cambio de la cadena. Tiempo de reparación es de 1 hora.	6	Uso normal del equipo. Falta de mantenimiento. Desajuste de los prisioneros.	2	El personal de mantenimiento hace rondas de supervisión cuando lo cree necesario o el operador informa.	8	96	Mantenimiento preventivo y rutinas de supervisión
2-Mantener estándares de seguridad y apariencia definidos por los usuarios	Transportadores de tornillo	Soltura mecánica en alguno de sus componentes	Desmontaje y desprendimiento de alguno de sus componentes	3	Falta de ajuste en los pernos. Rotura de algún componente de sujeción.	4	El personal de mantenimiento hace rondas de supervisión cuando lo cree necesario o el operador informa.	6	72	Mantenimiento preventivo y rutinas de supervisión
		Daño en los rodamientos o chumaceras	Se debe de detener el proceso para proceder con el cambio de los rodamientos. Tiempo de paro es de 1 hora.	6	Deterioro del lubricante. Envejecimiento. Desalineamiento mecánico.	3	El personal de mantenimiento hace rondas de supervisión cuando lo cree necesario o el operador informa.	7	126	Mantenimiento preventivo y rutinas de supervisión
		Falla en el sistema de acoplamiento entre el tornillo sin fin y moto reductor.	Se debe de detener el proceso para proceder con el cambio de los acoplamientos. Tiempo de paro es de 1 hora.	7	Fallo de la cadena de transmisión de potencia. Fallo en los piñones.	2	El personal de mantenimiento hace rondas de supervisión cuando lo cree necesario o el operador informa.	8	112	Mantenimiento preventivo y rutinas de supervisión
		Desgaste de la hélice del tornillo sin fin.	Se debe de detener el proceso y sustituir el tornillo completo. Tiempo estimado de paro es de 2 horas	7	Uso normal del equipo.	2	El personal de mantenimiento hace rondas de supervisión cuando lo cree necesario o el operador informa.	7	98	Mantenimiento preventivo y rutinas de supervisión
		Ruptura del eje intermedio.	Se debe de detener el proceso para proceder con la reparación. Tiempo de paro es de 2 horas.	6	Uso normal del equipo o se paso la capacidad de carga de operación.	2	El operador reporta el fallo	10	120	Mantenimiento preventivo y rutinas de supervisión
	Elevadores de cangilones	Ruptura de la faja	Se detiene el proceso y se debe de proceder a reparar o sustituir la faja. Tiempo de paro estimado es de 6 horas.	8	Desgaste debido al uso constante.	1	El operador reporta el fallo	8	64	Mantenimiento preventivo y rutinas de supervisión
		Desalineamiento de la banda	Se detiene el proceso y se procede con el ajuste de la banda. Tiempo estimado de paro es de 1 hora.	6	Uso normal del equipo. Desajuste o fallo de las guías de la faja.	2	El personal de mantenimiento hace rondas de supervisión cuando lo cree necesario o el operador informa.	8	96	Mantenimiento preventivo y rutinas de supervisión
		Ruptura de los tornillos del huacal	Se debe de detener el proceso para proceder con la reparación. Tiempo de paro es de 1 hora.	5	Uso normal del equipo o se paso la capacidad de carga de operación.	3	El operador reporta el fallo	8	120	Mantenimiento preventivo y rutinas de supervisión

B) AMFE del subproceso de Rotación de las Guardiolas.

Análisis de efectos y modos de falla (AMFE)										
Empresa: Compañía Santa Rosa Limitada			Proceso: Rotación de las Guardiolas				Fecha:			
Sistema: Secado de Café			Elaborado por: Luis Eduardo Sánchez Madriz							
Función del proceso	Equipo	Modos de fallo	Efecto	S	Causa	O	Controles	D	NPR	Acciones
1-Mantener una velocidad de giro de 2,25 RPM de manera constante	Motores	Falta o deterioro del lubricante	Se debe de detener el proceso para reponer el faltante de lubricante o sustituir según corresponda. Tiempo de paro para llevar a cabo la tarea es de 2 horas.	7	Desgaste de sellos. Uso de lubricantes diferentes al especificado. Falta de mantenimiento	3	El personal de mantenimiento hace rondas de supervisión cuando lo cree necesario o el operador informa.	8	168	Mantenimiento preventivo y rutinas de supervisión
		Daño en los rodamientos	Se detiene el motor y por lo tanto el proceso. Tiempo de paro para reemplazar el motor es de 3 horas. Se procede con la reparación en el taller	7	Deterioro del lubricante Envejecimiento Desalineamiento mecánico	3	El personal de mantenimiento hace rondas de supervisión cuando lo cree necesario o el operador informa.	7	147	Mantenimiento preventivo y rutinas de supervisión
		Devanados del estator quemados o en corto circuito	Se detiene el motor y por lo tanto el proceso. Tiempo de paro para reemplazar el motor es de 3 horas. Se procede con la reparación en el taller	6	Bajo nivel de aislamiento. Contaminación. Mal funcionamiento de protecciones.	3	El operador reporta el fallo	6	108	Mantenimiento correctivo.
		Falla en el sistema mecánico de transmisión de potencia	Se debe de detener el proceso para realizar el cambio de la polea. Tiempo de reparación es de 1 hora.	6	Uso normal del equipo. Falta de mantenimiento. Desajuste de los prisioneros.	2	El personal de mantenimiento hace rondas de supervisión cuando lo cree necesario o el operador informa.	8	96	Mantenimiento preventivo y rutinas de supervisión
2-Mantener un volumen de carga de producto definido por el usuario para no sobrecargar los motores	Estructura de la Guardiola	Atasco de los engranajes de la transmisión mecánica de la guardiola	Se detiene el proceso para limpiar y remover la suciedad de los engranajes y volver a engrasar. Tiempo estimado de paro es de 4 horas	6	Uso normal del equipo. Falta de mantenimiento.	2	El personal de mantenimiento hace rondas de supervisión cuando lo cree necesario o el operador informa.	6	72	Mantenimiento preventivo y rutinas de supervisión
		Soltura mecánica de la estructura	Desmontaje o desprendimiento de alguno de sus componentes. Tiempo estimado de reparación es de 2 horas.	6	Falta de ajuste en los pernos. Fallo de algún componente de sujeción.	2	El personal de mantenimiento hace rondas de supervisión cuando lo cree necesario o el operador informa.	7	84	Mantenimiento preventivo y rutinas de supervisión
		Falta o fallo del lubricante en el eje motriz.	Se debe de detener el proceso para colocar la grasa adecuadamente.	9	Desgaste de sellos. Uso de lubricantes diferentes al especificado. Falta de mantenimiento	1	Se realiza un mantenimiento profundo anual y constante engrasamiento del sistema	8	72	Mantenimiento preventivo y rutinas de supervisión
3-Mantener estándares de seguridad y apariencia definidos por los usuarios	Caja reductora	Daño en los rodamientos	Se detiene el motor y por lo tanto el proceso. Tiempo de paro para reemplazar el motor es de 3 horas. Se procede con la reparación en el taller	7	Deterioro del lubricante Envejecimiento Desalineamiento mecánico	3	El personal de mantenimiento hace rondas de supervisión cuando lo cree necesario o el operador informa.	7	147	Mantenimiento preventivo y rutinas de supervisión
		Fallo o falta de lubricante	Se debe de detener el proceso para reponer el faltante de lubricante o sustituir según corresponda. Tiempo de paro para llevar a cabo la tarea es de 2 horas.	7	Desgaste de sellos. Uso de lubricantes diferentes al especificado. Falta de mantenimiento	3	El operador reporta el fallo	8	168	Mantenimiento preventivo y rutinas de supervisión
		Desgaste de los engranajes	Se detiene el proceso. Tiempo de paro para reemplazar la caja reductora es de 3 horas. Se procede con la reparación en el taller	7	Uso normal del equipo	2	El operador reporta el fallo	8	112	Sin cambios
		Ruptura del eje de transmisión.	Se detiene el proceso. Tiempo de paro para reemplazar la caja reductora es de 3 horas. Se procede con la reparación en el taller	7	Uso normal del equipo	2	El operador reporta el fallo	8	112	Sin cambios

C) AMFE del subproceso de suministro de aire caliente.

Análisis de efectos y modos de falla (AMFE)										
Empresa: Compañía Santa Rosa Limitada			Proceso: Suministro de aire caliente				Fecha: 5-8-2022			
Sistema: Secado de Café			Elaborado por: Luis Eduardo Sánchez Madriz							
Función del proceso	Equipo	Modos de fallo	Efecto	S	Causa	O	Controles	D	NPR	Acciones
1-Mantener un flujo constante de X m3/min de aire caliente a una temperatura de 60°C	Ventiladores	Desbalance mecánico en los ventiladores	Se debe de detener el proceso para balancear. Tiempo estimado de reparación es de 4 horas.	7	Uso normal del equipo. Exceso de contaminantes adheridos a la turbina.	2	El personal de mantenimiento hace rondas de supervisión cuando lo cree necesario o el operador informa.	7	98	Mantenimiento preventivo y rutinas de supervisión
		Vibración excesiva por encima de lo normal	Se debe de detener el proceso para limpiar la turbina antes de que ocasionen problemas en otros equipos asociados.	6	Uso normal del equipo	4	El personal de mantenimiento hace rondas de supervisión cuando lo cree necesario o el operador informa.	7	168	Mantenimiento preventivo y rutinas de supervisión
2-Permitir ajustar el flujo y la temperatura de acuerdo con las necesidades del proceso	Motores	Falta o fallo del lubricante	Se debe de detener el proceso para reponer el faltante de lubricante o sustituir según corresponda. Tiempo de paro para llevar a cabo la tarea es de 2 horas.	7	Desgaste de sellos. Uso de lubricantes diferentes al especificado. Falta de mantenimiento	3	El personal de mantenimiento hace rondas de supervisión cuando lo cree necesario o el operador informa.	8	168	Mantenimiento preventivo y rutinas de supervisión
		Falla en el sistema mecánico de transmisión de potencia	Se debe de detener el proceso para realizar el cambio de la polea. Tiempo de reparación es de 1 hora.	6	Uso normal del equipo. Falta de mantenimiento.	2	El personal de mantenimiento hace rondas de supervisión cuando lo cree necesario o el operador informa.	8	96	Mantenimiento preventivo y rutinas de supervisión
	Temperatura anormal de operación	Se detiene el proceso y se procede a medir el aislamiento para decidir si puede seguir en operación o se debe de sustituir. Tiempo estimado de paro 3 horas para sustituir.	7	Sistema de ventilación del equipo obstruido por contaminantes externos. Protecciones no aptas para el equipo.	3	El personal de mantenimiento hace rondas de supervisión cuando lo cree necesario o el operador informa.	8	168	Mantenimiento preventivo y rutinas de supervisión	
3-Mantener estándares de apariencia definidos por el usuario	Motores	Daño en los rodamientos	Se detiene el motor y por lo tanto el proceso. Tiempo de paro para reemplazar el motor es de 3 horas. Se procede con la reparación en el taller	7	Deterioro del lubricante Envejecimiento Desalineamiento mecánico	3	El personal de mantenimiento hace rondas de supervisión cuando lo cree necesario o el operador informa.	7	147	Mantenimiento preventivo y rutinas de supervisión
		Devanados del estator quemados o en corto circuito	Se detiene el motor y por lo tanto el proceso. Tiempo de paro para reemplazar el motor es de 3 horas. Se procede con la reparación en el taller	6	Bajo nivel de aislamiento. Contaminación. Mal funcionamiento de protecciones.	3	El operador reporta el fallo	8	144	Mantenimiento preventivo y rutinas de supervisión
4. Permitir al operador regular la temperatura en las secadoras.	Termómetros	Indicación incorrecta de temperatura	Produce lecturas incorrectas de temperatura, afectando la calidad del secado. Debe de ser sustituido.	6	Falta de mantenimiento. Equipo no apto.	10	No existe un control	8	480	Optar por un sistema de control de temperaturas mas eficiente
	Dampers	Bloqueo total o parcial del mecanismo de accionamiento	No se logra regular la temperatura de manera correcta. Tiempo de reparación estimada es de 2 horas.	6	Falta de mantenimiento.	9	No existe un control	8	432	Mantenimiento preventivo y rutinas de supervisión
	Ductos	Entrada de aire exterior en alguna de las uniones o estructura	Inestabilidad en la temperatura del aire de secado, afectando la calidad del producto. Tiempo estimado de reparaciones es de 2 horas.	5	Rotura debido a vibraciones. Desajuste o fallo de los pernos de sujeción.	1	El operador reporta el fallo.	7	35	Mantenimiento preventivo y rutinas de supervisión

#### D) Código de programación completo.

```
#include <Wire.h>
#include <LCD.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

LiquidCrystal_I2C lcd (0x27, 2, 1, 0, 4, 5, 6, 7); // DIR, E, RW, RS, D4, D5, D6, D7

#include <SoftwareSerial.h>
#include "max6675.h"
#define RX 2
#define TX 3

#define CONFIG_TCGND_PIN      0
#define CONFIG_TCVCC_PIN     1
#define CONFIG_TCCK_PIN      13
#define CONFIG_TCCS_PIN      12
#define CONFIG_TCDO_PIN      11

#define CONFIG_TCCK1_PIN     8
#define CONFIG_TCCS1_PIN     9
#define CONFIG_TCDO1_PIN    10

String AP = "Luis";          // AP NOMBRE
String PASS = "86587832";   // AP contraseña
String API = "R2L6EKX9SEV4FTKQ"; // llave generada en thingspeak
String API2= "GIK790FCDKB03HW3";
String HOST = "api.thingspeak.com";
String PORT = "80";
String field = "field1";
String field2="field2";
int countTrueCommand;
int countTimeCommand;
int valSensor = 1;
int valSensor1= 1;
SoftwareSerial esp8266(RX,TX);

void setup() {

    lcd.setBacklightPin(3, POSITIVE);
    lcd.setBacklight(HIGH); // habilita iluminacion
    lcd.begin(16, 2);      // Matriz de pantalla
    lcd.clear();
    pinMode(7, OUTPUT);
    pinMode(6, OUTPUT);
```

---

```

Serial.begin(9600);
esp8266.begin(115200);
sendCommand("AT", 5, "OK");
sendCommand("AT+CWJAP=\"" + AP + "\",\"" + PASS + "\"", 20, "OK");
pinMode(CONFIG_ICVCC_PIN, OUTPUT); digitalWrite(CONFIG_ICVCC_PIN, HIGH);
pinMode(CONFIG_ICGND_PIN, OUTPUT); digitalWrite(CONFIG_ICGND_PIN, LOW);
delay(500);
}

void loop() {
  valSensor = getSensorData();
  String getData = "GET /update?api_key="+ API +"&"+ field +"="+String(valSensor);
  sendCommand("AT+CIPSTART=0,\"TCP\",\"" + HOST + "\",\""+ PORT,15, "OK");
  sendCommand("AT+CIPSEND=0," +String(getData.length()+4), 4, ">");
  esp8266.println(getData);delay(1000);countTrueCommand++;
  sendCommand("AT+CIPCLOSE=0", 5, "OK");

  Serial.print("Secadora_5 = ");
  Serial.println(thermocouple.readCelsius());
  delay(500);

  if(thermocouple.readCelsius()>=65)
  {
    digitalWrite(7,HIGH);
  }

  else if (thermocouple.readCelsius()<=50)
  {
    digitalWrite(7,HIGH);
  }

  else if (thermocouple.readCelsius()>50)
  {
    digitalWrite(7,LOW);
  }

  else if (thermocouple.readCelsius()<65)
  {
    digitalWrite(7,LOW);
  }

  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("TEM SEC 5");
  lcd.setCursor(0, 1);

```

---

```

    lcd.print( thermocouple.readCelsius());
    lcd.print("Grados C");

    valSensor1=getSensorData1();
    String getData1 = "GET /update?api_key="+ API +"&" + field2 +"="+String(valSensor1);
    sendCommand("AT+CIPMUX=1",5,"OK");
    sendCommand("AT+CIPSTART=0,\"TCP\", \"\"+ HOST +"\", "+ PORT,15,"OK");
    sendCommand("AT+CIPSEND=0," +String(getData1.length()+4),4,">");
    esp8266.println(getData1);delay(1000);countTrueCommand++;
    sendCommand("AT+CIPCLOSE=0",5,"OK");

    Serial.print("Secadora_7 = ");
    Serial.println(thermocouple1.readCelsius());
    delay(500);

    if(thermocouple1.readCelsius()>=65)
    {
        digitalWrite(6,HIGH);
    }

    else if (thermocouple1.readCelsius()<=50)
    {
        digitalWrite(6,HIGH);
    }

    else if (thermocouple1.readCelsius()>50)

```

```

    digitalWrite(6, LOW);
}

else if (thermocouple1.readCelsius() < 65)
{
    digitalWrite(6, LOW);
}
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("TEM SEC 7");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print(thermocouple1.readCelsius());
lcd.print("Grados C");
}

int getSensorData(){
    //return random(1000);
    return thermocouple.readCelsius();
}

int getSensorData1(){
    //return random(1000);
    return thermocouple1.readCelsius();
}

void sendCommand(String command, int maxTime, char readReply[]) {
    Serial.print(countTrueCommand);
    Serial.print(". at command => ");
    Serial.print(" ");
    while(countTimeCommand < (maxTime*1))
    {
        esp8266.println(command);
        if(esp8266.find(readReply))
        {
            found = true;
            break;
        }

        countTimeCommand++;
    }

    if(found == true)
    {
        Serial.println("OK");
        countTrueCommand++;
        countTimeCommand = 0;
    }

    if(found == false)
    {
        Serial.println("Fail");
        countTrueCommand = 0;
    }
}

```

## E) Interfaz de visualización en Thingspeak

The screenshot shows the Thingspeak web interface for a channel titled "Monitoreo de Secadoras". The channel ID is 1884279, the author is mwa000027815811, and the access is public. The channel description is "Monitoreo de las temperaturas de las secadoras de café". The interface includes navigation tabs for Private View, Public View, Channel Settings, Sharing, API Keys, and Data Import / Export. There are buttons for "Add Visualizations", "Add Widgets", "Export recent data", "MATLAB Analysis", and "MATLAB Visualization". The "Channel Stats" section shows the channel was created 5 days ago and has 0 entries. Below the stats are four widget placeholders: "Secadora 5", "Secadora 7", "Field 1 Chart", and "Field 2 Chart". The "Secadora 5" and "Secadora 7" widgets show "Field value unavailable". The "Field 1 Chart" and "Field 2 Chart" widgets show a line graph with the title "Monitoreo de Secadoras", a y-axis labeled "Secadora 5" and "Secadora 7" respectively, and an x-axis labeled "Date".

ThingSpeak Channels Apps Devices Support Commercial Use How to Buy

### Monitoreo de Secadoras

Channel ID: 1884279  
Author: mwa000027815811  
Access: Public

Monitoreo de las temperaturas de las secadoras de café

Private View Public View Channel Settings Sharing API Keys Data Import / Export

Add Visualizations Add Widgets Export recent data

MATLAB Analysis MATLAB Visualization

### Channel Stats

Created: 5 days ago  
Entries: 0

#### Secadora 5

Field value unavailable

#### Secadora 7

Field value unavailable

#### Field 1 Chart

Monitoreo de Secadoras

Secadora 5

Date

#### Field 2 Chart

Monitoreo de Secadoras

Secadora 7

Date

F) Control de temperatura en Guardiola 7

Nombre del Documento: CONTROL MANUAL DE TEMPERATURA EN GUARDIOLAS																		
Fecha de Aprobación: 01-09-2015										Código: 3-F-3-4								
Firma de Aprobación:										Versión: 1								
Fecha de ingreso: 5/10/2022					Fecha de salida: 7/10/2022					Beneficio: SR								
Hora de ingreso: 9:00 AM					Hora de salida: 4:00 AM					Guardiola: 7								
Tipo Café (AAA,SBUX,OTRS): AAA					Calidad:					Lote de producción:								
Realizado Puntero:										OT:								
Fecha	Hora	Temperatura					Revisión hecha por:	Temp/ Superv	Fecha	Hora	Temperatura					Revisión hecha por:	Temp/ Superv	
		45	50	55	60	65					70	45	50	55	60			65
	1:00 a.m								1:00 p.m		X							
	2:00 a.m								2:00 p.m									
	3:00 a.m								3:00 p.m		X							
	4:00 a.m								4:00 p.m		X							
	5:00 a.m								5:00 p.m		X							
	6:00 a.m								6:00 p.m									
	7:00 a.m								7:00 p.m									
	8:00 a.m								8:00 p.m									
	9:00 a.m	X							9:00 p.m									
	10:00 a.m			X					10:00 p.m			X						
	11:00 a.m								11:00 p.m			X						
	12:00 m.d							Fecha	12:00 m.n			X						
	1:00 p.m		X						1:00 a.m			X						
	2:00 p.m				X				2:00 a.m			X						
	3:00 p.m			X					3:00 a.m		X							
	4:00 p.m			X					4:00 a.m		X							
	5:00 p.m			X					5:00 a.m									
	6:00 p.m								6:00 a.m									
	7:00 p.m								7:00 a.m									
	8:00 p.m	X							8:00 a.m									
	9:00 p.m			X					9:00 a.m									
	10:00 p.m			X					10:00 a.m									
	11:00 p.m			X					11:00 a.m									
Fecha	12:00 m.n			X					12:00 m.d									
	1:00 a.m			X					1:00 p.m									
	2:00 a.m		X						2:00 p.m									
	3:00 a.m			X					3:00 p.m									
	4:00 a.m	X							4:00 p.m									
	5:00 a.m		X						5:00 p.m									
	6:00 a.m			X					6:00 p.m									
	7:00 a.m		X						7:00 p.m									
	8:00 a.m			X					8:00 p.m									
	9:00 a.m			X					9:00 p.m									
	10:00 a.m								10:00 p.m									
	11:00 a.m	X							11:00 p.m									
	12:00 m.d		X					Fecha	12:00 m.n									

Este documento es propiedad de Beneficios (Costa Rica) S.A., prohibida la reproducción total o parcial sin la debida autorización

G) Control de temperatura en Guardiola 7

Nombre del Documento: CONTROL MANUAL DE TEMPERATURA EN GUARDIOLAS																			
Fecha de Aprobación: 01-09-2015										Código: 3-F-3-4									
Firma de Aprobación:										Version 1									
Fecha de ingreso: 7/10/2022					Fecha de salida: 9/10/2022					Beneficio: SR									
Hora de ingreso: 1:00 PM					Hora de salida: 11:00 AM					Guardiola: 7									
Tipo Café (AAA,SBUX,OTRS): AAA					Calidad:					Lote de producción:									
Realizado Puntero:										OT									
Fecha	Hora	Temperatura					Revisión hecha por:	Temp/Superv	Fecha	Hora	Temperatura					Revisión hecha por:	Temp/Superv		
		45	50	55	60	65					70	45	50	55	60			65	70
	1:00 a.m.								1:00 p.m.			X							
	2:00 a.m.								2:00 p.m.										
	3:00 a.m.								3:00 p.m.		X								
	4:00 a.m.								4:00 p.m.			X							
	5:00 a.m.								5:00 p.m.				X						
	6:00 a.m.								6:00 p.m.										
	7:00 a.m.								7:00 p.m.										
	8:00 a.m.								8:00 p.m.										
	9:00 a.m.								9:00 p.m.										
	10:00 a.m.								10:00 p.m.						X				
	11:00 a.m.								11:00 p.m.							X			
	12:00 m.d								Fecha 12:00 m.n				X						
	1:00 p.m	X							1:00 a.m			X							
	2:00 p.m		X						2:00 a.m		X								
	3:00 p.m			X					3:00 a.m				X						
	4:00 p.m				X				4:00 a.m			X							
	5:00 p.m		X						5:00 a.m				X						
	6:00 p.m								6:00 a.m				X						
	7:00 p.m								7:00 a.m		X								
	8:00 p.m								8:00 a.m		X								
	9:00 p.m		X						9:00 a.m	X									
	10:00 p.m					X			10:00 a.m				X						
	11:00 p.m				X				11:00 a.m			X							
	Fecha 12:00 m.n				X				Fecha 12:00 m.d										
	1:00 a.m		X						1:00 p.m										
	2:00 a.m	X							2:00 p.m										
	3:00 a.m	X							3:00 p.m										
	4:00 a.m	X							4:00 p.m										
	5:00 a.m		X						5:00 p.m										
	6:00 a.m		X						6:00 p.m										
	7:00 a.m				X				7:00 p.m										
	8:00 a.m				X				8:00 p.m										
	9:00 a.m			X					9:00 p.m										
	10:00 a.m								10:00 p.m										
	11:00 a.m	X							11:00 p.m										
	12:00 m.d		X						Fecha 12:00 m.n										

Este documento es propiedad de Beneficios (Costa Rica) S.A. prohíbe la reproducción total o parcial sin la debida autorización

H) Control de temperatura en guardiola 5.

Nombre del Documento: CONTROL MANUAL DE TEMPERATURA EN GUARDIOLAS																	
Fecha de Aprobación: 01-09-2015										Código: 3-F-3-4							
Firma de Aprobación:										Versión: 1							
Fecha de ingreso: 5/10/2022					Fecha de salida: 7/10/2022					Beneficio: SR							
Hora de ingreso: 1 PM					Hora de salida: 8 AM					Guardiola: 5							
Tipo Café (AAA,SBUX,OTRS): AAA					Calidad:					Lote de producción:							
Realizado Puntero:										OT							
Fecha	Hora	Temperatura					Revisión hecha por:	Temp/Superv	Fecha	Hora	Temperatura					Revisión hecha por:	Temp/Superv
		45	50	55	60	65					70	45	50	55	60		
	1:00 a.m								1:00 p.m		X						
	2:00 a.m								2:00 p.m								
	3:00 a.m								3:00 p.m	X							
	4:00 a.m								4:00 p.m			X					
	5:00 a.m								5:00 p.m				X				
	6:00 a.m								6:00 p.m								
	7:00 a.m								7:00 p.m								
	8:00 a.m								8:00 p.m								
	9:00 a.m								9:00 p.m								
	10:00 a.m								10:00 p.m		X						
	11:00 a.m								11:00 p.m			X					
	12:00 m.d							Fecha	12:00 m.n		X						
	1:00 p.m	X							1:00 a.m	X							
	2:00 p.m		X						2:00 a.m	X							
	3:00 p.m			X					3:00 a.m		X						
	4:00 p.m			X					4:00 a.m			X					
	5:00 p.m			X					5:00 a.m		X						
	6:00 p.m								6:00 a.m		X						
	7:00 p.m								7:00 a.m				X				
	8:00 p.m	X							8:00 a.m				X				
	9:00 p.m		X						9:00 a.m								
	10:00 p.m			X					10:00 a.m								
	11:00 p.m			X					11:00 a.m								
	Fecha 12:00 m.n			X				Fecha	12:00 m.d								
	1:00 a.m	X							1:00 p.m								
	2:00 a.m	X							2:00 p.m								
	3:00 a.m	X							3:00 p.m								
	4:00 a.m		X						4:00 p.m								
	5:00 a.m	X							5:00 p.m								
	6:00 a.m		X						6:00 p.m								
	7:00 a.m		X						7:00 p.m								
	8:00 a.m			X					8:00 p.m								
	9:00 a.m			X					9:00 p.m								
	10:00 a.m			X					10:00 p.m								
	11:00 a.m	X							11:00 p.m								
	12:00 m.d		X					Fecha	12:00 m.n								

Este documento es propiedad de Beneficios (Costa Rica) S.A., prohibida la reproducción total o parcial sin la debida autorización

D) Control de temperatura en guardiola 5

Nombre del Documento: CONTROL MANUAL DE TEMPERATURA EN GUARDIOLAS																			
Fecha de Aprobación: 01-09-2015										Código 3-F-3.4									
Firma de Aprobación:										Versión 1									
Fecha de ingreso: 7/10/2022					Fecha de salida: 9/10/2022					Beneficio: SR									
Hora de ingreso: 8:00 AM					Hora de salida: 9:00 AM					Guardiola 5									
Tipo Café (AAA,SBUX,OTRS): AAA					Calidad:					Lote de producción:									
Realizado Puntero:										OT									
Fecha	Hora	Temperatura					Revisión hecha por:	Temp/Superv	Fecha.	Hora	Temperatura					Revisión hecha por:	Temp/Superv		
		45	50	55	60	65					70	45	50	55	60			65	70
	1:00 a.m								1:00 p.m			X							
	2:00 a.m								2:00 p.m										
	3:00 a.m								3:00 p.m		X								
	4:00 a.m								4:00 p.m				X						
	5:00 a.m								5:00 p.m				X						
	6:00 a.m								6:00 p.m										
	7:00 a.m								7:00 p.m										
	8:00 a.m	X							8:00 p.m										
	9:00 a.m		X						9:00 p.m										
	10:00 a.m			X					10:00 p.m						X				
	11:00 a.m								11:00 p.m						X				
	12:00 m.d							Fecha	12:00 m.n			X							
	1:00 p.m	X							1:00 a.m			X							
	2:00 p.m				X				2:00 a.m			X							
	3:00 p.m					X			3:00 a.m				X						
	4:00 p.m				X				4:00 a.m			X							
	5:00 p.m		X						5:00 a.m				X						
	6:00 p.m								6:00 a.m				X						
	7:00 p.m								7:00 a.m		X								
	8:00 p.m								8:00 a.m		X								
	9:00 p.m	X							9:00 a.m	X									
	10:00 p.m						X		10:00 a.m										
	11:00 p.m					X			11:00 a.m										
Fecha	12:00 m.n			X					12:00 m.d										
	1:00 a.m	X							1:00 p.m										
	2:00 a.m	X							2:00 p.m										
	3:00 a.m	X							3:00 p.m										
	4:00 a.m	X							4:00 p.m										
	5:00 a.m		X						5:00 p.m										
	6:00 a.m		X						6:00 p.m										
	7:00 a.m			X					7:00 p.m										
	8:00 a.m				X				8:00 p.m										
	9:00 a.m				X				9:00 p.m										
	10:00 a.m								10:00 p.m										
	11:00 a.m	X							11:00 p.m										
	12:00 m.d		X					Fecha	12:00 m.n										

Este documento es propiedad de Beneficios (Costa Rica) S.A. prohibida la reproducción total o parcial sin la debida autorización

## 8. Anexos

### 1) Especificaciones eléctricas modulo MAX6675

(V<sub>CC</sub> = +3.0V to +5.5V, T<sub>A</sub> = -20°C to +85°C, unless otherwise noted. Typical values specified at +25°C.) (Note 1)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	
Temperature Error		T <sub>THERMOCOUPLE</sub> = +700°C, T <sub>A</sub> = +25°C (Note 2)	V <sub>CC</sub> = +3.3V	-5		+5	LSB
			V <sub>CC</sub> = +5V	-6		+6	
		T <sub>THERMOCOUPLE</sub> = 0°C to +700°C, T <sub>A</sub> = +25°C (Note 2)	V <sub>CC</sub> = +3.3V	-8		+8	
			V <sub>CC</sub> = +5V	-9		+9	
		T <sub>THERMOCOUPLE</sub> = +700°C to +1000°C, T <sub>A</sub> = +25°C (Note 2)	V <sub>CC</sub> = +3.3V	-17		+17	
			V <sub>CC</sub> = +5V	-19		+19	
Thermocouple Conversion Constant				10.25		μV/LSB	
Cold-Junction Compensation Error		T <sub>A</sub> = -20°C to +85°C (Note 2)	V <sub>CC</sub> = +3.3V	-3.0		+3.0	°C
			V <sub>CC</sub> = +5V	-3.0		+3.0	
Resolution				0.25		°C	
Thermocouple Input Impedance				60		kΩ	
Supply Voltage	V <sub>CC</sub>		3.0		5.5	V	
Supply Current	I <sub>CC</sub>			0.7	1.5	mA	
Power-On Reset Threshold		V <sub>CC</sub> rising	1	2	2.5	V	
Power-On Reset Hysteresis				50		mV	
Conversion Time		(Note 2)		0.17	0.22	s	
<b>SERIAL INTERFACE</b>							
Input Low Voltage	V <sub>IL</sub>				0.3 x V <sub>CC</sub>	V	
Input High Voltage	V <sub>IH</sub>		0.7 x V <sub>CC</sub>			V	
Input Leakage Current	I <sub>LEAK</sub>	V <sub>IN</sub> = GND or V <sub>CC</sub>			±5	μA	
Input Capacitance	C <sub>IN</sub>			5		pF	
Output High Voltage	V <sub>OH</sub>	I <sub>SOURCE</sub> = 1.6mA	V <sub>CC</sub> - 0.4			V	
Output Low Voltage	V <sub>OL</sub>	I <sub>SINK</sub> = 1.6mA			0.4	V	
<b>TIMING</b>							
Serial Clock Frequency	f <sub>SCL</sub>				4.3	MHz	
SCK Pulse High Width	t <sub>CH</sub>		100			ns	
SCK Pulse Low Width	t <sub>CL</sub>		100			ns	
CSB Fall to SCK Rise	t <sub>CSS</sub>	C <sub>L</sub> = 10pF	100			ns	
CSB Fall to Output Enable	t <sub>DV</sub>	C <sub>L</sub> = 10pF			100	ns	
CSB Rise to Output Disable	t <sub>TR</sub>	C <sub>L</sub> = 10pF			100	ns	
SCK Fall to Output Data Valid	t <sub>DO</sub>	C <sub>L</sub> = 10pF			100	ns	

**Note 1:** All specifications are 100% tested at T<sub>A</sub> = +25°C. Specification limits over temperature (T<sub>A</sub> = T<sub>MIN</sub> to T<sub>MAX</sub>) are guaranteed by design and characterization, not production tested.

**Note 2:** Guaranteed by design. Not production tested.

Fuente: MAXIM

2) Descripción de pines Max6675

<b>PIN</b>	<b>NAME</b>	<b>FUNCTION</b>
1	GND	Ground
2	T-	Alumel Lead of Type-K Thermocouple. Should be connected to ground externally.
3	T+	Chromel Lead of Type-K Thermocouple
4	VCC	Positive Supply. Bypass with a 0.1 $\mu$ F capacitor to GND.
5	SCK	Serial Clock Input
6	$\overline{\text{CS}}$	Chip Select. Set $\overline{\text{CS}}$ low to enable the serial interface.
7	SO	Serial Data Output
8	N.C.	No Connection

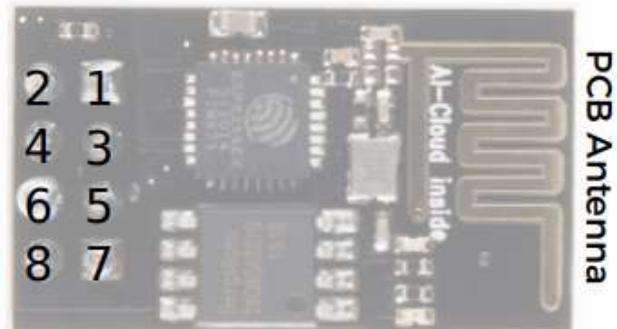
Fuente: MAXIM

3) Especificaciones modulo ESP8266

# ESP8266 Module (WRL-13678)



D7	GPIO1	TX	2- TXO
		Chip Enable	4- CHPD
		Reset	6- RST
		3.3V	8- 3V
		GND	1- GND
	D2/SDA	GPIO2	3- GPIO2
	D0	GPIO0	5- GPIO0
D8	GPIO3	RX	7- RXI



**Power**  
VCC-3.0-3.6V  
Standby - 0.9uA  
Running -60-215mA,  
Average - 80mA

**Wifi Features**  
802.11 b/g/n  
2.4GHz  
WPA/WPA2  
Wifi Direct

+20dBm output power (802.11b)

**I/O Features**  
Integrated TCP/IP  
Integrated TR switch, LNA,  
balun

**Memory/Speed Features**  
80MHz  
64KB instruction RAM  
96KB data RAM  
64K boot ROM  
1MB\* Flash Memory

**Basic Connection**  
VCC - 3.3V  
GND - GND  
TX - RX on Arduino or FTDI  
RX - TX on ARduino or FTDI  
Chip Enable - 3.3V

**Default Baud Rate**  
11520\* 8N1

**LEDs**  
Red: Power  
Blue: TX

\*milage may vary on different version of the board

Fuente: Sparkfun

#### 4) Comandos AT

##### Lista de comandos:

Comando	Respuesta	Función
AT - Probar iniciación correcta		
AT	OK	Prueba si el módulo responde correctamente
AT+RST - Reinicia el módulo		
AT+RST	OK	Resetéa el módulo
AT+CWMODE - Modo Wifi		
AT+CWMODE=?	+CWMODE:(1-3) OK	Lista los modos validos
AT+CWMODE?	+CWMODE:modo OK	Pregunta en que modo AP esta actualmente el módulo
AT+CWMODE=modo	OK	Establece el módulo en el modo dado 1 = Modo estación (cliente) 2 = Modo AP (huésped) 3 = Modo AP + Estación (modo dual)

AT+CWLAP - Lista APs disponibles

AT+CWLAP	AT+CWLAP:ecn,ssid,rssi,mac OK	Lista los Access Points disponibles para conectarse. ecn: codificación, puede ser: 0 = Abierto 1 = WEP 2 = WPA PSK 3 = WPA2 PSK 4 = WPA WPA2 PSK ssid: String que contiene el SSID del AP rssi: Fuerza de la señal mac: String que contiene la dirección MAC
AT+CWLAP=ssid,mac,ch	+CWLAP:ecn,ssid,rssi,mac OK	Busca Access Points disponibles para conectarse cc las condiciones especificadas

AT+CWJAP - Unirse a un Access Point

AT+CWJAP?	+ CWJAP:ssid OK	Imprime el SSID al que el módulo esta conectado
AT+CWJAP=ssid,pwd	OK	El módulo se conecta a la red con el nombre ssid indicado y la contraseña pwd suministrada
AT+CWJAP=ssid,pwd	OK	El módulo se conecta a la red con el nombre ssid indicado y la contraseña pwd suministrada

AT+CWQAP - Desconectarse de una Access Point

AT+CWQAP	OK	Se desconecta de la red que esta actualmente conectado
----------	----	--

AT+CWSAP - Configurar el softAP del módulo

AT+CWSAP?	+CWSAP:ssid,pwd,ch,ecn OK	Pregunta la configuración actual del softAP
AT+CWSAP=ssid,pwd,ch,ecn	OK	Configura el softAP con ssid: String con el nombre de la red pwd: Contraseña, no mayor a 64 caracteres ch: Canal inalámbrico ecn: Tipo de codificación 1 = Abierto 2 = WPA_PSK 3 = WPA2_PSK 4 = WPA_WPA2_PSK

AT+CIPSTATUS - Información acerca de la conexión		
AT+CIPSTATUS	STATUS:status +CIPSTATUS:id,type,addr,port,tetype OK	status: 2 = Se obtuvo IP 3 = Conectado 4 = Desconectado id: ID de la conexión en caso de multiconexión (1-4) type: Tipo de conexión, "TCP" o "UDP" addr: Dirección IP de la conexión port: Numero del puerto tetype: 0 = El módulo corre como cliente 1 = El módulo corre como servidor
AT+CIPMUX - Habilitar o deshabilitar multiples conexiones		
AT+CIPMUX=mode	OK	mode: 0 = Conexión única 1 = Múltiples conexiones, hasta 4
AT+CIPMUX?	+CIPMUX:mode OK	Imprime el mode, el modo de conexión actual
AT+CIPSTART - Establece una conexión TCP o registra un puerto UDP e inicia la conexión		
AT+CIPSTART=type,addr,port	OK	Empieza una conexión como cliente (en modo conexión única) type: puede ser "TCP" o "UDP" addr: String que contenga la dirección IP remota port: String que contenga el puerto remoto
AT+CIPSTART=id,type,addr,port	OK	Empieza una conexión como cliente (En modo conexión múltiple) id: ID de la conexión (1-4)
AT+CIPSTART=?	[+CIPSTART:(id)("type"),("ip address"), (port)] OK	Lista los posibles comandos
AT + CIPCLOSE - Cierra la conexión TCP o UDP		
AT+CIPCLOSE=?	OK	
AT+CIPCLOSE=id	OK	Cierra la conexión TCP o UDP con el ID "id" en modo conexión múltiple
AT+CIPCLOSE	OK	Cierra la conexión TCP o UDP para modo de conexión única

AT+CIPSEND - Enviar datos		
AT+CIPSEND=?	OK	
AT+CIPSEND=length	SEND OK	Establece la longitud de datos a enviarse (máximo 2048). Para un envío normal (modo conexión única)
AT+CIPSEND=id,length	SEND OK	Establece la longitud de datos a enviarse en la conexión número "id". Para un envío normal (modo conexión múltiple)
AT+CIPSEND		Envía datos sin adornos cada 20ms. El módulo retorna ">" después ejecutar el comando, si se recibe el comando "+++" se regresa al modo comando.
AT+CIFSR - Obtener la dirección IP local		
AT+CIFSR=?	OK	
AT+CIFSR	+CIFSR:ip OK	Retorna la dirección IP local del módulo como cliente.
AT+CIPSERVER - Configurar como servidor		
AT+CIPSERVER=mode[,port]	OK	Configura el módulo como servidor donde el modo: 0 = Borrar servidor 1 = Crear servido puerto: numero del puerto, por defecto es el 333
AT+CIOBAUD Cambiar la velocidad de transmisión serial		
AT+CIOBAUD=?	+CIOBAUD:(9600-921600) OK	Nos informa que las velocidades de transmisión permitidas están en este rango
AT+CIOBAUD?	+CIOBAUD:baudrate OK	Nos indica que el módulo está actualmente configurado a 'baudrate'
AT+CIOBAUD=baudrate	OK	Configura la velocidad de transmisión a 'baudrate'

Fuente: Sparkfun

## 5) Costo Modulo MAX6675

**MAX6675 Module + K Type Thermocouple Sensor For Arduino**



Producto n°: [AD42235](#)  
Tu precio: **US\$15,95**  
No. de artículos en existencia: 9  
Disponibilidad: [En existencia](#)

[Comprar](#)

Fuente: Micro JPM

## 6) Costo Modulo MAX6675

**WiFi Module - ESP8266**



Producto n°: [AD1343](#)  
Tu precio: **US\$8,95**  
No. de artículos en existencia: 8  
Disponibilidad: [En existencia](#)

[Comprar](#)

▪ Vendedor: [SPARKFUN.COM](#)

Fuente: Micro JPM

## 7) Costo LCD 16x2

**Display LCD 16x2 Basico**



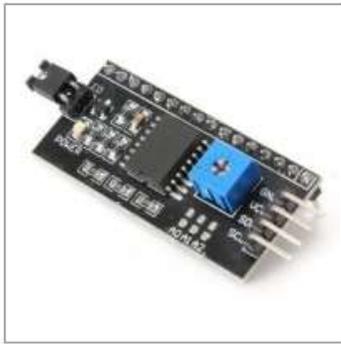
Producto n°: AD223  
Tu precio: **US\$7,20**  
No. de artículos en existencia: 11  
Disponibilidad: En existencia

**Comprar**

Fuente: Micro JPM

## 8) Costo modulo I2C

**I2C Serial Interface Module For 1602**



Producto n°: AD11962  
Tu precio: **US\$3,10**  
No. de artículos en existencia: 0  
Disponibilidad: Solicitado

**Comprar**

Fuente: Micro JPM